SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

HÉRÉDITÉ p.30

Ce que révèlent les tests

GÉNÉALOGIE ET ADN

MIEUX COMBATTRE LES MALADIES

LUTTER CONTRE LE PHYLLOXÉRA p.10

Cognac, sur la piste des vieux cépages

FUSION NUCLÉAIRE p.40

ITER, le tokamak prend forme

OCTOBRE 2020 - N° 884 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,90 € / BELGIQUE 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / ITALIE 5,70 € / DOM 5,90 € / ANDORRE 5,40 € / LUXEMBOURG 5,70 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 880 XPF / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 8,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $
L 13418 - 884 - F: 5,30 € - RD

© PHOTOMONTAGE SVA : INNOCENTI/GETTY LR/GRAPHIIGETTY - SHUTTERSTOCK

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 884 - OCTOBRE 2020 - HÉRÉDITÉ

MA SANTÉ, C'EST SÉRIEUX.
J'AI CHOISI MGEN
MUTUELLE SANTÉ - PRÉVOYANCE
Martin Fourcade et 4 millions de personnes ont choisi MGEN pour ses valeurs solidaires, son authenticité mutualiste, l'accès aux soins de qualité et sa conception innovante de la protection qui intègre la prévoyance.

mgen

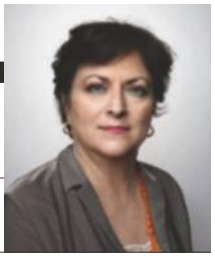
GROUPE VYV

www.antigel.agency - janvier 2019 - © Hervé THOUROUDE - Ce document est non contractuel

MARTIN FOURCADE
CHAMPION DU MONDE &
CHAMPION OLYMPIQUE
DE BIATHLON

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, n°775 685 399, MGEN Vie, n°441 922 002, MGEN Filia, n°440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du code de la Mutualité - MGEN Action sanitaire et sociale, n°441 921 913, MGEN Centres de santé, n°477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du code de la Mutualité.

ÉDITO



BERNARD MARTINEZ

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Intimité

Longtemps, généalogie a rimé avec plongée dans les archives des mairies ou dans des parchemins retrouvés dans des greniers de châteaux ou autres maisons bourgeoises. Objectif de ce passe-temps au long cours, la reconstitution d'arbres aux branches se perdant le plus loin possible dans le passé, dans une quête parfois romanesque des origines. Dans un registre plus grave car impulsé par les notaires, il y avait (il y a toujours) les recherches de parenté, en particulier pour des héritages laissés en déshérence, en attente d'un récipiendaire légitime.
Il y eut aussi, lors de périodes noires comme celle du nazisme, l'obligation faite par des autorités haineuses de remonter dans son ascendance pour apporter la preuve de telle ou telle absence de lien, tout particulièrement avec la religion juive. Des papiers à compulser, des documents administratifs à présenter, parfois pour le pire. Une matière ultrasensible, donc. Aujourd'hui, la recherche s'est approfondie, si l'on ose écrire, passant des grimoires et actes de naissance, de mariage ou de décès à une incarnation particulière de l'identité sise au cœur des gènes. Après l'être social, l'être biologique, comme le montre le dossier de ce mois-ci dans *Sciences et Avenir-La Recherche*. Après le juridique, la génétique. Et ce, avec l'explosion de cette science, mise à la portée de tous ou presque. Certains se souviennent encore de la révolution des années 1980, quand surgirent dans l'espace public les recherches (génétiques) en paternité. Virulent débat éthique, passion du grand public quand il fut question, une décennie plus tard, d'exhumer la dépouille d'Yves Montand pour effectuer un test probant. Dans le même temps, se sont multipliés les tests médicaux, autorisant la découverte, par exemple, de la trisomie chez un fœtus. En laboratoire de la police scientifique ou à l'hôpital, ces analyses encadrées par la loi se poursuivent aujourd'hui activement. Elles sont le plus souvent à la recherche de marqueurs simples — un seul gène défaillant —, qui permettent de diagnostiquer de graves maladies héréditaires, telle Huntington *(p. 36)*. Reste que le paysage a été bouleversé. L'assaut est venu de la Californie dans les années 2000, quand la désormais célèbre 23&Me *(p. 32)* a promis à qui le désirerait de déchiffrer son génome pour une poignée de dollars. Attentes clés au cœur de l'intimité de chacun : découvrir d'où l'on vient ; renouer avec une parentèle ignorée ; mesurer aussi ses risques de maladie. Pas si simple, pas si recommandable, insistent pourtant les scientifiques *(pp. 34 et 38-39)* que *Sciences et Avenir-La Recherche* a interrogés. Attention à la fiabilité des tests — toujours interdits en France —, mais aussi à la propriété des données, voire à la *« marchandisation de la chose biologique »*, ainsi que le dénonce l'oncologue Catherine Noguès. Avec des génotypages à 20 euros que peuvent s'offrir presque toutes les bourses, chacun d'entre nous a de quoi s'interroger. Comme de s'enquérir, plus philosophiquement, sur le droit de... ne pas savoir. De quoi débattre en famille. ■ @dominiqueleglu

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Pour joindre la rédaction : 41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrices de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01 - Carole CHATELAIN (adjointe) - 01.55.35.56.57
Rédacteur(trice)s en chef
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Mathieu NOWAK (actualités - rendez-vous) - 01.55.35.56.38
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59 - Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Maryvonne MARCONVILLE (directrice artistique) - 01.70.98.19.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Chef(fe)s de service
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service adjoint
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33 -
Sylvain GUILBAUD (fondamental) - 01.70.98.19.38 - Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54 - Bérénice ROBERT (environnement) - 01.70.98.19.34
Rédaction
Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78 - Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27 - Olivier HERTEL (technologie, futur) - 01.55.35.56.03 -Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40 - Elena SENDER grande reporteure (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43
Collaborateurs(trices)
Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs
Aurélien ALVAREZ, Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH
Ont participé à ce numéro
Thomas ALLARD, Pierre BERLOQUIN, Pierre KALDY, Sara de LACERDA, Florentin ROY, Hugo RUHER
Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17 - Anaëlle BRUYAND (1re secrétaire) - 01.70.98.19.35

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital
Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56- Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41 - Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

Abonnements et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc
60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.

Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Directeur de publicité
Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale
Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes
Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Partenariat Joëlle HEZARD - 01.58.65.09.99
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements
Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : **Claude PERDRIEL**

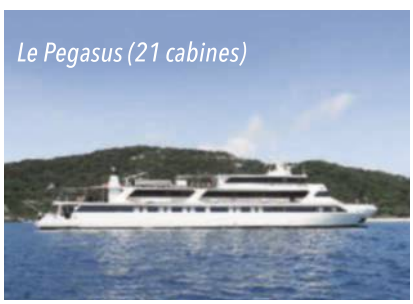
Secrétaire général Jean-Claude Rossignol
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél. : 01.55.35.56.00.

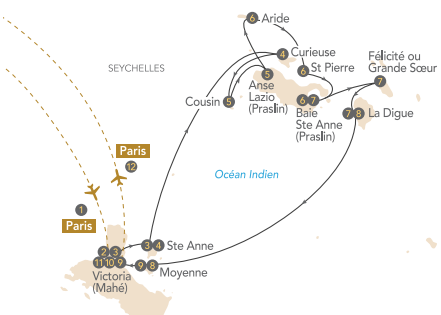
PEFC 10-31-3364
PEFC recyclé
Ce produit est issu de sources recyclées et contrôlées.
pefc-france.org

Origine du papier : Italie
Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Newsprint (Lieusaint), certifié PEFC

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un message « L'objet du mois – un coffret collector d'Achille Talon », un message « Sophia Boutique- montre Planet » ainsi qu'un message « Psychologies » sur une partie de la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

NOUVEAUTÉ 2021





Sylvain Mahuzier
Guide naturaliste

Renvoyez ce coupon à Croisières d'exception - 77 rue de Charonne - 75011 Paris

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : ⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌋ Ville : .....

Tél. : ⌊_⌊_⌋ ⌊_⌊_⌋ ⌊_⌊_⌋ ⌊_⌊_⌋ ⌊_⌊_⌋ E-mail : .....

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant. *Pour toute nouvelle réservation ** Se référer à la brochure pour le détail des prestations et les conditions générales de vente. Les conférenciers seront présents sauf cas de force majeure. Licence n° IM075150063. Photos : © AdobeStock, © Iceland Pro et © Croisières d'exception.

sa-2010-2102-SEYCHELLES

CROISIÈRE

Seychelles, perle colorée

Paradis de l'océan indien

Du 4 au 15 février 2021

Plage Anse source d'argent, île La Digue - Seychelles

En **février 2021**, Croisières d'exception vous propose d'embarquer à bord d'un yacht luxueux, le ***Pegasus***, et de partir à la découverte de l'un des plus célèbres archipels de l'océan Indien : **les Seychelles**. Lors de ce périple rare, vous aurez la chance de parcourir la plupart des **Îles Intérieures**, connues pour leurs **paysages verdoyants**, leurs **plages magnifiques** et leurs **diverses espèces animales** : oiseaux marins, grenouilles, tortues géantes... Vous serez accompagné par **Sylvain Mahuzier**, guide naturaliste qui, lors de **conférences captivantes**, vous partagera ses connaissances sur la faune et la flore.

OFFRE SPÉCIALE **Réduction de 500 €/pers.** pour toute réservation avant le 31 octobre 2020 (code REVE)

soit la croisière à partir de ~~5 490€~~ **4 990 €/pers.**** au départ de Paris

* Vols depuis Paris, pension complète, boissons (sélection), conférences et taxes inclus. Départ de province possible : nous consulter.

Demandez la brochure au **01 75 77 87 48**, par e-mail à **contact@croisieres-exception.fr**
ou sur **www.croisieres-exception.fr/brochures** (code **SEYSA** à renseigner),
ou dans votre agence de voyages habituelle.

Croisières d'exception
devient ***Voyages d'exception***

Réalisation : Agence Pschhh - Crédit photo : © Getty Images / Photographe : skynesher.

TRANSMETTRE UN PATRIMOINE D'EXCEPTION, C'EST AUSSI PRÉSERVER CE QUI L'ENTOURE.

En adhérant aujourd'hui au nouveau contrat Allianz Vie Fidélité, vous transmettez à vos enfants un capital financier et vous choisissez un assureur qui s'engage en faveur de l'environnement.

L'expertise Allianz vous assure un accompagnement dans les choix de placements qui vous correspondent, tout en favorisant les investissements responsables.
Prenez rendez-vous dès maintenant avec votre conseiller pour en discuter.

Allianz.fr/assurance-vie/

Avec vous de A à Z

Allianz

Allianz Vie Fidélité est un contrat d'assurance vie de groupe à adhésion facultative de type multi-support.
Allianz Vie - Entreprise régie par le Code des assurances - Société anonyme au capital de 643 054 425 € - Siège social : 1, cours Michelet - CS 30051 - 92076 Paris La Défense Cedex - 340 234 962 R.C.S. Nanterre.
Document à caractère publicitaire.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche
N° 884 - Octobre 2020

DOSSIER P. 30

Faut-il faire confiance aux tests génétiques ?

L'analyse de l'ADN s'est démocratisée. On peut aujourd'hui y recourir pour rechercher des origines ou évaluer des risques de contracter une maladie… Mais que valent ces tests génétiques et quelle est leur portée ? « Sciences et Avenir » fait le point.

3 **Édito** par Dominique Leglu
9 **La Recherche** Solution des jeux

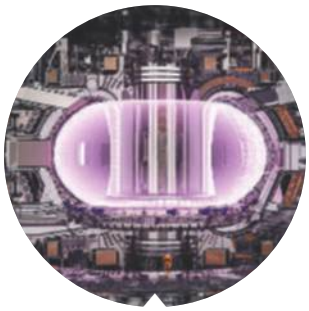
ÉVÉNEMENT
10 **Des cépages anciens pour s'armer contre le phylloxéra**

SCIENCES FONDAMENTALES
14 **ACTUALITÉS** / La pression d'une étoile a été reproduite sur Terre / Quand le CO_2 annonce le séisme
40 **Iter : une étape clé pour l'énergie de fusion**
44 **Osiris-Rex s'apprête à « butiner » l'astéroïde Bénou**
48 **Une nouvelle population de trous noirs a été détectée**
49 **L'eau terrestre aurait toujours été là**

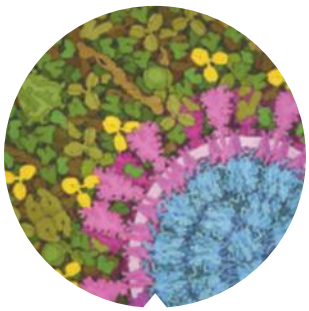
HISTOIRE
16 **ACTUALITÉS** / Des animaux hibernaient il y a 250 millions d'années / Le disque de Nebra rajeunit de 1000 ans
50 **L'enfance dorlotée des bébés préhistoriques**
54 **Avec les policiers qui traquent les œuvres d'art volées**
57 **À quoi ressemblait un lit il y a 200 000 ans**

NATURE
20 **ACTUALITÉS** / Le chien chanteur de Nouvelle-Guinée n'a pas disparu / La biodiversité n'est pas (encore) perdue
58 **La fonte du pergélisol menace la planète**
62 **Interdiction du glyphosate : les solutions alternatives sont dans l'ornière**
66 **L'extraordinaire périple du thon rouge**
67 **Des éoliennes noires pour protéger les oiseaux**

Des gènes de cépages anciens pour rendre la vigne résistante au phylloxéra **p. 10**



Le réacteur Iter est en cours d'assemblage. Objectif : maîtriser la fusion nucléaire. **p. 40**



Covid-19 : en attendant un vaccin, les médecins ont appris à mieux prendre les malades en charge **p. 68**

SANTÉ
24 **ACTUALITÉS** / L'implant cérébral d'Elon Musk passe en phase de test / La stimulation magnétique pour arrêter le tabac
68 **Covid-19 : les espoirs face à la deuxième vague**
72 **Un projet audacieux d'hôpital en kit**
74 **Comment contrer la polyarthrite rhumatoïde**
78 **La conception des organoïdes change de dimension**
81 **Rien ne sert d'être détestable pour être au pouvoir**
82 **Nutrition : cure détox raisin, attention à l'intox**
84 **Dossier spécial troubles du sommeil**

HIGH-TECH
28 **ACTUALITÉS** / Le champ magnétique pour concurrencer le GPS / Une voiture volante a été pilotée
92 **Le trafic aérien guidé par l'intelligence artificielle**

RENDEZ-VOUS
96 **La Recherche Dialogue sur les grandes avancées de la lutte contre le cancer du sein**
100 **La Recherche Autour d'un livre**
102 **Sélection livres**
104 **Expositions**
105 **Le ciel d'octobre**
106 **La Recherche Jeux**

La Recherche RETROUVEZ NOS CHRONIQUES
49 **Maths : Aurélien Alvarez**
67 **Climat : Christophe Cassou et Céline Guivarch**
99 **Éthique : Jean-Gabriel Ganascia**

GETTY IMAGES / WILDLIFE-ANDIA / AURIMAGES / AFP - ITER ORGANIZATION - DAVID S. GOODSELL

Inserm
La science pour la santé
From science to health

cité sciences et industrie

CYCLE DE CONFÉRENCES

Santé en questions

Le cerveau, fabrique de nos émotions

Jeudi 24 septembre 2020 de 19h à 20h30

Joie, surprise, tristesse, colère… ces émotions ultra-familières nous sont indispensables pour nous adapter au monde qui nous entoure. Elles entretiennent un dialogue avec notre corps, notre cerveau et notre environnement. Elles ont un rôle de protection et sont nécessaires à notre existence, à notre survie.

Auditorium de la Cité des sciences et de l'industrie à Paris

INTERVENANTS

- **Philippe Fossati**

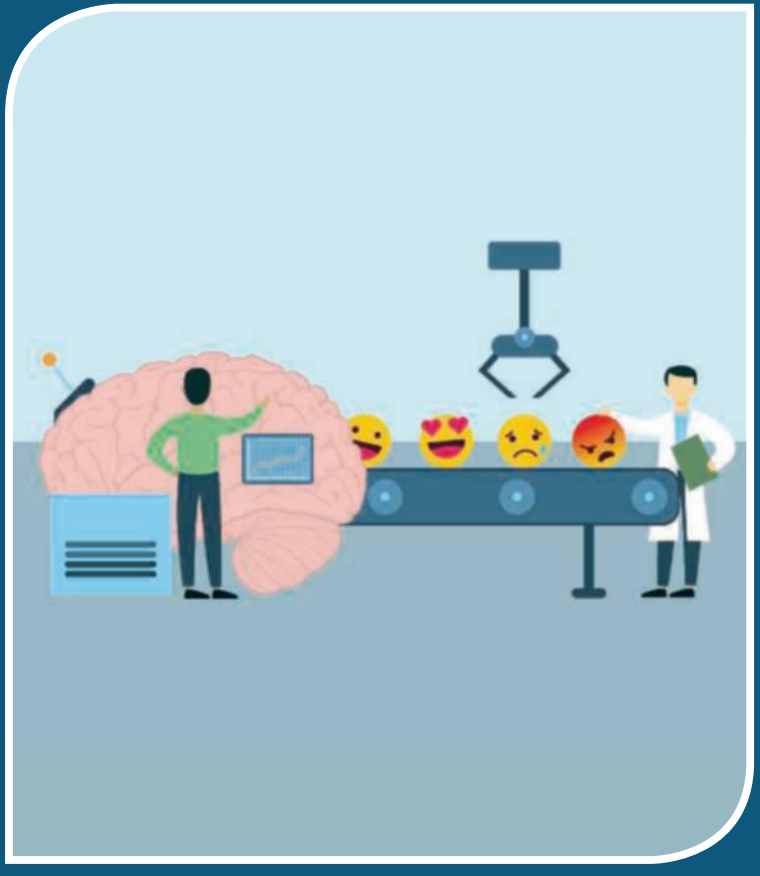
Psychiatre, chercheur à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (unité 1127 Inserm, Paris)

- **Denis Peschanski**

Directeur de recherche CNRS, historien, Centre européen de sociologie et de science politique (CNRS/Université Paris 1/EHESS), co-responsable scientifique du programme 13-Novembre (Inserm/CNRS/HESAM)

- **Carine Dautrey**

Psychologue spécialiste en psychologie comportementale et cognitive, Association Française de Thérapie Comportementale et Cognitive



inserm.fr et cite-sciences.fr

La Recherche · SCIENCES AVENIR · THE CONVERSATION · casden · PARIS · la grande fête des sciences

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 883 septembre 2020

Une addition très littéraire

```
  5 6 2 8
+ 3 4 7 8
= 9 1 0 6
```

Arithméticiens entre eux

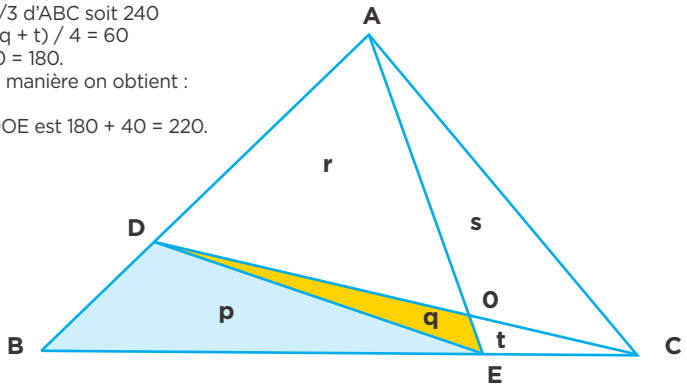
En appelant A E et C les différentes nationalités, on peut poser que
• A + E + C = 41
• 12 A + 9 E + C = 120
On élimine rapidement les Chinois par soustraction pour obtenir
• 11 A + 8 E = 79
• où A et E sont des entiers positifs.
Un multiple de 11, soustrait à 79, donne un multiple de 8. En comparant les deux suites de multiples, on retient une seule combinaison possible :
• 3 x 8 + 5 x 11 donnent 79.
Il y avait 5 Américains, 3 Européens et donc 33 Chinois.

Citations croisées

CE QUI EST INCOMPRÉHENSIBLE C'EST QUE LE MONDE SOIT COMPRÉHENSIBLE *Albert Einstein*

Un quadrilatère dans le triangle

L'aire d'un triangle étant proportionnelle à sa base, les aires délimitées par une sécante sont proportionnelles aux segments qu'elle délimite.
Ajoutons le segment DE et appelons p q r s t les régions délimitées.
On cherche p + q.
p + q + t = 1/3 d'ABC soit 240
q + t = (p + q + t) / 4 = 60
p = 240 - 60 = 180.
De la même manière on obtient :
q = 40
L'aire de BDOE est 180 + 40 = 220.



Codes personnels

Cette suite de six lignes plus une fait fortement penser à une semaine et aux rendez-vous des sept jours qui se suivent de lundi à dimanche. De là à considérer que les lettres majuscules sont les voyelles des jours de la semaine, il n'y a qu'un pas et Georgette sera suivie logiquement de IAE, voyelles de dimanche.

Des cépages anciens pour s'armer contre le phylloxéra

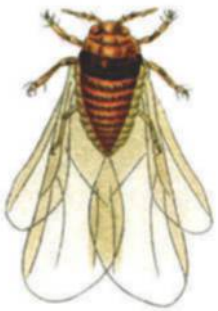
Le séquençage récent du génome de l'insecte, qui a ravagé le vignoble français au XIXe siècle, rappelle que la menace plane toujours. À Cognac, comme partout ailleurs en France, on recherche des gènes de résistance.

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

PHILIPPE ROY / AURIMAGES/ AFP

C'EST UNE NOUVELLE QUI SONNE comme une alarme dans le monde de la viticulture. La publication du séquençage du génome de *Daktulosphaira vitifoliae*, en juillet, rappelle qu'il ne faut surtout pas baisser la garde face à ce terrible parasite qui reste paradoxalement mal connu au regard des ravages qu'il provoque. Le phylloxéra — qui a entièrement détruit le vignoble français au XIXe siècle — n'a en effet pas disparu et développe toujours son cycle de vie tortueux aux pieds des vignes, partout en France. Pire : il suffirait d'une mutation génétique ou d'un changement dans le mode de vie de l'insecte, provoqué par une hausse des températures, pour que la viticulture revive ce cauchemar ancien. Et c'est justement cette capacité à s'adapter à un nouvel environnement que viennent de mettre en évidence les chercheurs de l'Institut national de la recherche agronomique et de l'environnement (Inrae) *(lire l'encadré p. 12)*. De quoi réveiller la vigilance des viticulteurs qui ont eu tendance ces dernières décennies à se reposer sur l'usage de porte-greffes américains résistants, un remède qui pourrait bien s'avérer obsolète. D'où l'idée, développée notamment par les chercheurs et viticulteurs de la région de Cognac (Charente), d'aller piocher dans le patrimoine des variétés américaines pour y trouver des gènes de résistance aux ravageurs.

Si la région charentaise s'inscrit parmi les pionniers de cette recherche, c'est en raison de la dépendance du vignoble (98 %) à un seul cépage, l'ugni blanc, issu de la crise du phylloxéra. Que ce puceron revienne, et c'est toute l'économie régionale qui s'effondre, soit un chiffre d'affaires de 3 milliards d'euros à l'exportation. Mais déjà, l'ugni est condamné car, dans les décennies qui viennent, il deviendra trop généreux en alcool en raison du réchauffement climatique en cours. Des généticiens, des techniciens viticoles, des ampélographes, ces spécialistes de la vigne capables de reconnaître un cépage à la forme des feuilles, anticipent donc ce changement majeur. Directeur du Conservatoire du vignoble charentais, Sébastien Julliard couve ainsi son 0,7 hectare de vignes situées à Cherves-Richemont, à



KOHLI-ILLUSTRATION / ALAMY / PHOTO12

FICHE D'IDENTITÉ

Daktulosphaira vitifoliae est un hémiptère de la famille des pucerons. De couleur jaune-brun, il mesure de 0,3 à 1,4 millimètre. C'est un insecte piqueur inféodé à la vigne.

L'ugni blanc est devenu le cépage largement majoritaire du vignoble du cognac, après la crise du phylloxéra à la fin du XIXe siècle. Il est monté sur des porte-greffes américains résistant au puceron.

quelques kilomètres de la ville de Cognac. En rang par cinq à dix ceps, s'y alignent 58 cépages cultivés dans la région entre le XIIIe et le XVIIIe siècle et 21 lambrusques autochtones, ces vignes sauvages d'avant la domestication par l'humain. « *Créé en 1998, le conservatoire s'est attaché, dans un premier temps, à rechercher dans la région des parcelles oubliées, des ceps cultivés par des particuliers, ces variétés ayant miraculeusement survécu à la crise du phylloxéra mais aussi des souches ayant survécu à leur abandon par l'homme* », explique Sébastien Julliard. Les ampélographes ont de leur côté retrouvé les noms de ces vignes délaissées mentionnés dans les archives. Celles-ci racontent un vignoble charentais médiéval bien différent de celui d'aujourd'hui. « *Jusqu'au XVe siècle, la vigne est cultivée en Aunis, dans la région de La Rochelle et sur les îles de Ré et d'Oléron,* raconte Sébastien Julliard. *Afin de faciliter le transport et la conservation, les négociants anglais et hollandais prennent l'option de distiller le vin. La culture de la vigne dans la région de Cognac ne s'est développée qu'à partir de l'essor de la distillation au XVIIe siècle* ». Mais le phylloxéra est venu frapper les 280 000 hectares de la

L. CHAUVEAU

« Cette année, nous avons planté une variété ancienne très prometteuse, le monbadon »

Sébastien Julliard, directeur du Conservatoire du vignoble charentais, à Cherves-Richemont (Charente)

Les analyses génomiques de « Daktulosphaira vitifoliae » ont révélé l'existence d'une nouvelle et très grande famille de gènes (au nombre de 2700) probablement impliquée dans l'interaction entre l'insecte et sa plante hôte.

BIOLOGIE

Les surprises du séquençage du génome du phylloxéra

Connaît-on vraiment le phylloxéra ? Pas vraiment, affirment les chercheurs du consortium international qui vient de séquencer le génome de cet insecte, un des ancêtres de toutes les espèces de pucerons qui peuplent la Terre. Outre un cycle de vie compliqué, il possède des particularités génétiques encore jamais rencontrées dans la nature. Parmi ses 25 000 gènes répertoriés, figurent 2700 codant les mêmes protéines baptisées « effecteurs ». *« Cette "famille" réellement hypertrophiée (on n'en avait jamais vu comptant plus de 200 gènes) est vraisemblablement impliquée dans les relations avec la plante hôte et signe probablement une coévolution, où les défenses de la vigne seraient contournées par une adaptation de l'insecte »*, estime Denis Tagu, chercheur à l'Institut de génétique environnement et protection des plantes de l'Inrae et coauteur de l'étude parue le 20 juillet dans *BMC Biology*. On comprend dès lors pourquoi le phylloxéra a pu être aussi ravageur sur des vignes n'ayant pas développé de défenses. Pour les chercheurs, ces gènes représentent en tout cas une véritable boîte à outils : *« nous allons pouvoir tenter de comprendre comment l'insecte attaque et comment la plante se défend grâce à l'analyse en parallèle des séquençages de vignes dont nous disposons »*, se réjouit Nathalie Ollat, spécialiste des porte-greffes à l'Inrae. Les chercheurs ont également comparé les différents génomes de phylloxéras européen et américain. Ils ont ainsi pu déterminer que cet insecte provient de populations sauvages vivant près du fleuve Mississipi, dans le Wisconsin, une région au climat très continental. La différence de climat avec celui tempéré de l'Europe génère des distorsions dans le mode de reproduction. Dans des conditions plus rudes, l'insecte a une reproduction sexuelle plus importante que celle par parthénogenèse. *« Ce qui signifie que les phylloxéras américains ont plus de diversité génétique que leurs cousins européens et pourraient être plus virulents »*, prévient François Delmotte. Le phylloxéra constitue donc toujours une menace latente sur la viticulture mondiale. Et le danger existe qu'un phylloxéra plus virulent que les générations précédentes mette à bas toute l'industrie du vin.

région à la fin des années 1860, composés à 60 % de folle blanche, le cépage préféré pour la fabrication du cognac loin devant des variétés « de bouche » comme le colombard ou le jurançon blanc. Les parasites sont alors venus tout bouleverser ! *« Au milieu du XIXe siècle, les relations étaient encore fortes entre les anciennes possessions françaises d'Amérique du Nord et la France*, raconte François Delmotte, chercheur à l'unité Santé et agro-écologie du vignoble de l'Inrae. *Des échanges de végétaux ont eu lieu et c'est par cette voie que l'oïdium et le mildiou d'abord, le phylloxéra ensuite, sont arrivés sur des vignobles européens qui ne connaissaient pas ces ravageurs.* » L'insecte va ensuite coloniser le monde en épargnant uniquement quelques régions australiennes.

Les porte-greffes américains « immunisés »

Pour le contrer, deux options vont alors s'opposer entre 1870 et 1900 : épandre ou injecter dans les sols de fortes doses de produits chimiques, comme le sulfure de carbone, ou importer massivement des pieds porte-greffes américains habitués à subir ces insectes et champignons et donc « immunisés ». *« Heureusement, c'est la méthode écologique qui l'a emportée »*, soupire François Delmotte. Et voilà pourquoi, aujourd'hui, la surface consacrée à la vigne dans la région de Cognac est de 80 000 hectares plantés à 98 % en ugni blanc monté sur porte-greffes... C'est assez dire la puissance du choc qui a poussé à uniformiser le vignoble avec ce cépage d'origine italienne jugé comme le plus résistant et le plus productif. Mal connu des amateurs français de vin, l'ugni blanc est pourtant le deuxième cépage planté en France derrière le merlot.

WILDLIFE/ANDIA

LE CYCLE DE VIE DU PUCERON

HIVER Le phylloxéra passe la période hivernale sous forme d'œufs.

PRINTEMPS Les œufs éclosent et donnent des fondatrices qui se reproduisent par parthénogenèse. Chaque individu peut produire 600 œufs.

ÉTÉ Les insectes asexués colonisent les feuilles puis les racines.

AUTOMNE Des nymphes issues d'individus nés par parthénogenèse présentes dans les racines se transforment en insectes ailés sexués qui vont produire les œufs permettant à l'espèce de passer l'hiver.

Depuis la fin du XIXe siècle, le greffage de cépages français sur des porte-greffes américains est donc devenu une habitude autant qu'une nécessité. « *Cela n'a pas éradiqué l'insecte, mais cela a contenu sa diffusion à des niveaux soutenables si bien que sans porte-greffe aujourd'hui, aucun vignoble, sauf ceux plantés sur des terrains sableux, ne serait viable* », précise Nathalie Ollat, spécialiste des porte-greffes à l'Inrae Bordeaux. La solution est même apparue si satisfaisante que les études sur la physiologie et le cycle de vie du phylloxéra n'ont plus été une priorité. « *Au début des années 2000, il n'y avait plus personne en France pour s'intéresser à cet insecte* », regrette la chercheuse.

La hausse des températures favorable à l'insecte

Mais face à l'urgence climatique, l'Inrae Bordeaux et des spécialistes mondiaux des maladies des vignes ont cependant décidé en 2011 de créer un consortium scientifique pour séquencer le génome du puceron et mieux comprendre l'interaction entre l'animal et le végétal *(lire l'encadré p. 12)*. Car ces travaux sont d'une importance cruciale pour l'eau-de-vie de Cognac en particulier mais aussi pour les vins français en général. La hausse des températures bouleverse la physiologie de la vigne et son cycle annuel, et modifie les conditions de vie des insectes, champignons, bactéries et virus voisinant avec la plante. « *Il y a deux sortes de risque*, résume Nathalie Ollat. *Soit une mutation du phylloxéra va permettre à celui-ci de contourner les défenses des porte-greffes, et le séquençage de son génome montre que l'insecte est armé pour cela, soit la hausse des températures va favoriser sa reproduction et augmenter ainsi sa pression sur la vigne* ». Le premier danger est réel. Il n'existe de par le monde que 70 porte-greffes homologués (31 en France) mais cinq seulement supportent 75 % des plants. Une mutation de l'insecte mettrait à mal le vignoble mondial. Il faut donc améliorer les porte-greffes actuels, un travail de longue haleine qui demande des décennies d'hybridations patientes pour obtenir des plants de grande qualité sanitaire mais aussi reproductibles pour les pépiniéristes.

LAURENT MABILLE - CONSERVATOIRE DU VIGNOBLE CHARENTAIS

SITE HISTORIQUE

La pépinière américaine de Saint-Trojan

Dans les années 1870, un espace situé sur les terrains sableux de Saint-Trojan-les-Bains (Charente-Maritime) en forêt domaniale de l'île d'Oléron est choisi pour tester la résistance des porte-greffes américains. Abandonné après le succès de cette solution, ce site a été redécouvert en 2016. Il abritait 35 génotypes distincts dont 29 variétés inconnues. Les vignes qui dans la nature se comportent comme des lianes étaient bien vivantes et grimpaient jusqu'au sommet des arbres *(photo ci-dessus)*.

Trouver un cépage de substitution

À Cognac, le défi est double. L'ugni blanc, qui se trouve à la limite nord de son aire climatique, produit dans ces conditions ce que les grandes maisons de négoce attendent : un vin acide entre 7 et 12 degrés d'alcool, qui permet une plus grande concentration des arômes lors de la distillation finale. « *Or, avec la hausse des températures, les jus flirtent avec les 12 degrés et les distillateurs vont se retrouver avec un vin trop riche en alcool d'ici à 2050* », déplore Sébastien Julliard. Il faut donc trouver un cépage de substitution. « *Cette année, nous avons planté une variété ancienne prometteuse, le monbadon qui produit des vins très peu chargés en alcool, et un autre cépage moins avancé dans la démarche, le vidal, qui semble également bien résister aux maladies cryptogamiques*, annonce Sébastien Julliard. *Il faudra cependant quelques années pour savoir si nous tenons les remplaçants de l'ugni blanc.* » Et s'ils se révéleront suffisamment résistants au phylloxéra… ■

La pression d'une étoile a été reproduite sur Terre

Objectif : mieux comprendre l'effet de ces conditions sur les changements de luminosité d'une étoile.

Les 450 mégabars obtenus en laboratoire équivalent à la pression que l'on trouve dans les enveloppes carbonées de certaines naines blanches, les astres les plus denses de l'Univers.

MARK MEAMBER AND CLAYTON DAHLEN/LLNL.

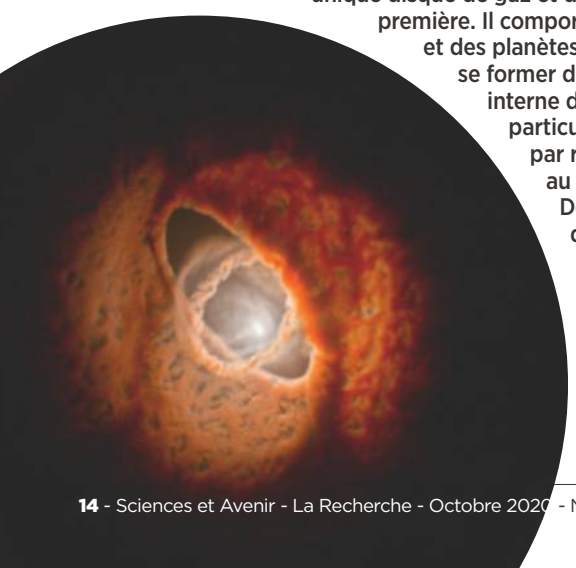
PHYSIQUE Près de 450 mégabars (Mbars), soit l'équivalent de 450 millions de fois la pression atmosphérique terrestre au niveau de la mer, ont été produits en laboratoire. Un record ! Jusqu'à présent, le maximum jamais atteint sur Terre dans le cadre d'une expérience était de 60 Mbars. Cette fois, les chercheurs du Lawrence Livermore National Laboratory (Californie, États-Unis) ont obtenu une pression équivalente à celle que l'on trouve dans les enveloppes carbonées d'un type rare de naine blanche, un astre qui compte parmi les plus denses de l'Univers.

L'objectif d'une telle expérience est notamment de mieux comprendre l'effet de ces conditions sur les changements de luminosité d'une étoile. Le dispositif consistait en une petite perle d'hydrocarbure d'un millimètre de diamètre, elle-même encapsulée dans un cylindre d'or de la taille d'un petit pois. Le laser a chauffé la sphère à près de 3,5 millions de kelvins et détruit la couche extérieure de la bille, créant une onde de choc. Celle-ci a convergé à travers la structure, entraînant l'augmentation de pression. Le tout en à peine 9 nanosecondes ! **M. B.**

L'IMAGE

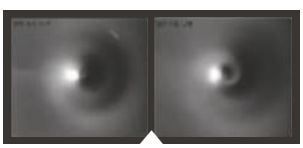
Un curieux « ménage à trois » stellaire

ASTRONOMIE Le radiotélescope Alma vient de révéler un système stellaire étrange. Les trois étoiles de GW Orionis, à 1300 années-lumière de nous, se trouvent entourées d'un seul et unique disque de gaz et de poussières, une première. Il comporte trois anneaux, et des planètes pourraient se former dans le plus interne des trois, qui a la particularité d'être incliné par rapport au plan du disque. Des planètes depuis lesquelles on verrait trois soleils. A. Kh.



Le système GW Orionis est entouré de trois anneaux dont le plus interne est très incliné (vue d'artiste).

ESO/L. CALÇADA, EXETER/KRAUS ET AL.



Les gaz tourbillonnant autour de la comète ont permis d'établir sa période de rotation.

INTERNATIONAL GEMINI OBSERVATORY/NOIRLAB/NSF/AURA/M. DRAHUS/P. GUZIK

La comète Neowise livre ses secrets

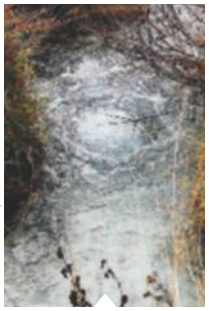
ASTRONOMIE Il faut 7 heures et demie à la comète Neowise pour faire un tour complet sur elle-même. Cette période de rotation a été déterminée en observant les gaz qui tourbillonnent autour du noyau cométaire, grâce au télescope Gemini North situé à Hawaii (États-Unis). Comète la plus brillante dans le ciel depuis le passage de Hale-Bopp en 1997, Neowise ne sera plus visible avant au moins 6000 ans. **F. D.**

7800 km

Le rayon du plus gros cratère d'impact du Système solaire

ASTRONOMIE Il aurait été identifié sur Ganymède, la plus grosse lune de Jupiter, en examinant d'anciennes photographies prises par les sondes Voyager et Galileo. Ce cratère aurait été formé par un astéroïde mesurant jusqu'à 150 kilomètres de large et fonçant vers Ganymède à la vitesse faramineuse de 7200 km/h. F. D.

SOURCE : N. HIRATA, UNIVERSITÉ DE KOBE, JAPON.



GIOVANNI CHIODINI INGV

CO_2 dans une source près de l'épicentre du séisme de L'Aquila (Italie).

Quand le CO_2 annonce le séisme

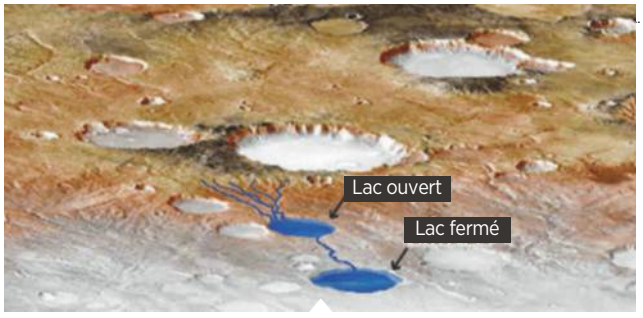
SISMOLOGIE Pour comprendre l'origine du séisme qui a frappé en 2009 la région de L'Aquila, en Italie, des géologues ont mesuré neuf ans durant la teneur en carbone de 36 sources voisines de l'épicentre pour la comparer à l'activité sismique de la région. Conclusion : l'augmentation des taux du CO_2 remonté des profondeurs géologiques correspond bien à une augmentation de l'activité sismique. **S. R.**

SOURCE : G. CHIODINI, INSTITUT ITALIEN DE GÉOPHYSIQUE ET DE VOLCANOLOGIE, BOLOGNE, ITALIE.

Un déluge martien

PLANÉTOLOGIE Aujourd'hui désertique, Mars aurait par le passé connu de formidables précipitations. Un seul épisode pouvait déverser de 4 à 159 mètres de pluie. Une centaine de bassins lacustres datant de 3,5 à 4 milliards d'années en témoigneraient : certains, qualifiés de « fermés », s'étant remplis au gré des tempêtes diluviennes, tandis que d'autres, « ouverts », se seraient rompus à la suite de violents débordements d'eau. **F. D.**

SOURCE : G. STUCKY DE QUAY, UNIVERSITÉ DU TEXAS, AUSTIN, ÉTATS-UNIS.



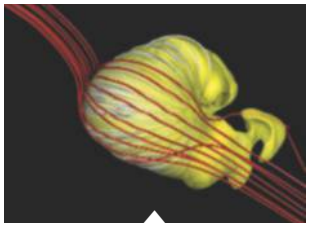
UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN

Il y a 3,5 à 4 milliards d'années, des pluies diluviennes ont formé des canaux et percé des bassins ouverts ou fermés.

L'héliosphère aurait une forme de croissant

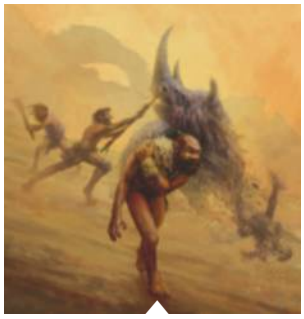
ASTRONOMIE La gigantesque bulle de gaz qui baigne le système solaire et marque la frontière avec le milieu interstellaire, qu'on appelle aussi l'héliosphère, n'aurait pas la forme d'une comète mais d'un « croissant dégonflé ». Des astronomes américains sont parvenus à cette conclusion en analysant les particules issues du milieu interstellaire et celles, soufflées par le Soleil, qui « rebondissent » sur la zone de démarcation. **F. D.**

SOURCE : M. OPHER, UNIVERSITÉ DE BOSTON, ÉTATS-UNIS.



OPHER ET AL.

Modélisation de la bulle de gaz qui nous protège de l'espace interstellaire.



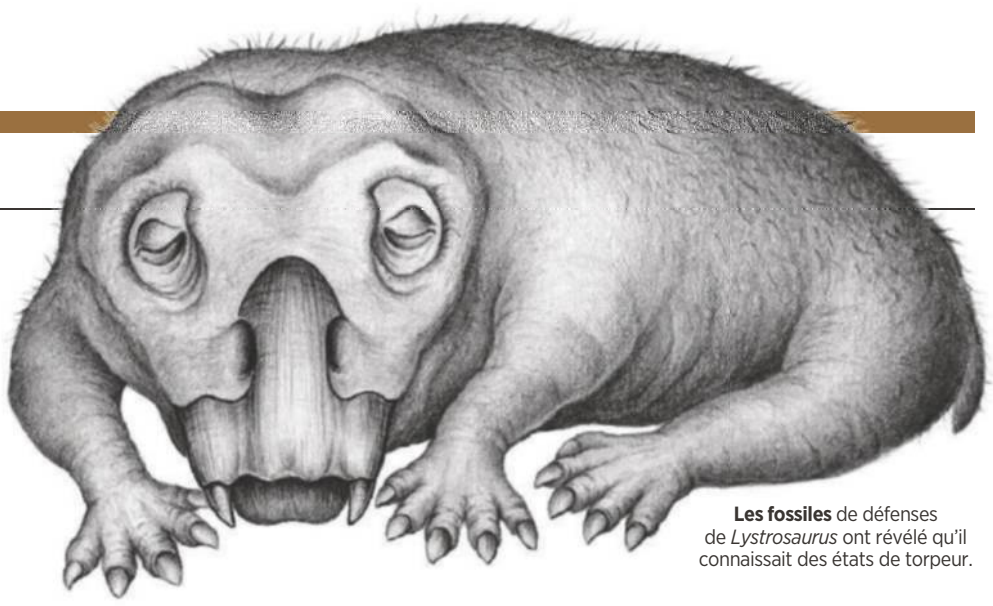
GLEIVERPRIETO

Une mutation génétique a rendu l'homme de Neandertal plus sensible à la douleur.

Neandertal nous a légué sa sensibilité à la douleur

ÉVOLUTION Les néandertaliens ont légué à certains Européens une mutation du gène SCN9A qui les rend plus douillets. Elle modifie la protéine qui signale les sensations de douleur à la moelle épinière et au cerveau. Et une étude sur 362 944 Britanniques a confirmé que les porteurs de cette variante se déclarent plus sensibles à la douleur. **R. M.**

HUGO ZEBERG, INSTITUT MAX-PLANCK DE LEIPZIG, ALLEMAGNE.



Les fossiles de défenses de *Lystrosaurus* ont révélé qu'il connaissait des états de torpeur.

CRYSTALSHIN

Des animaux hibernaient déjà il y a 250 millions d'années

Des chercheurs ont observé des signes de ralentissement métabolique chez des ancêtres des mammifères.

PALÉONTOLOGIE Il y a 250 millions d'années, des ancêtres de mammifères entraient déjà dans un état de torpeur, mettant leur métabolisme au ralenti par temps froid ou à la suite d'un manque de lumière. C'est ce que montre l'étude comparée d'une dizaine de *Lystrosaurus*, vivant alors au-delà du cercle polaire, en Antarctique, ou en deçà, dans l'actuelle Afrique du Sud. Ces créatures trapues, à mi-chemin entre le phacochère et le rat-taupe, étaient pourvues de petites défenses pour fouiller la végétation ou creuser des terriers. Or la dentine qui les compose diffère selon la localisation des individus. Chez ceux du sud, elle est irrégulière, avec des stries épaisses — signe de ralentissement métabolique. Chez ceux du nord, ces stries sont beaucoup plus régulières et fines. *« Ces découvertes sont à notre connaissance la plus ancienne preuve d'état de torpeur jamais rapportée »*, souligne Megan R. Withney, de l'université Harvard (États-Unis). Une faculté qui aurait pu contribuer à la survie de l'espèce lors de l'extinction de masse qui a eu lieu entre le permien et le trias, il y a 252,6 millions d'années. **R. M.**

BRIGITTE SCHOENEMANN

L'œil des arthropodes a bien vieilli

ZOOLOGIE Un fossile exceptionnellement bien conservé d'un trilobite *(photo)* révèle que l'œil des arthropodes existait déjà au silurien, il y a 429 millions d'années. Sphérique, il se compose de quelques centaines d'ommatidies, structures de huit cellules rétiniennes surmontées d'une lentille et entourées d'un pigment noir de mélanine. Le même type d'ommatidie se retrouve chez les insectes ou crustacés actuels. **P. K.**

SOURCE : BRIGITTE SCHOENEMANN, UNIVERSITÉ DE COLOGNE, ALLEMAGNE.

Une extinction massive peut-être due à des supernovae

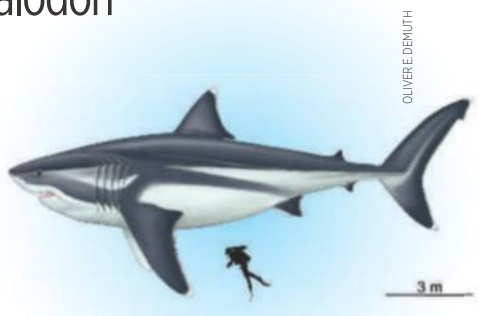
PALÉONTOLOGIE Volcanisme, impact de météorite, éruption solaire ? Aucun de ces événements n'explique l'extinction du dévonien qui s'est produite il y a 380 à 359 millions d'années et qui a vu la disparition d'environ 75 % des espèces. La cause pourrait être tout autre : une ou plusieurs étoiles en fin de vie auraient explosé en supernovae, qui auraient pu souffler la couche d'ozone terrestre et exposer les organismes vivants à un rayonnement ultraviolet mortel. **J. I.**

SOURCE : JOHN MARSHALL, UNIVERSITÉ DE SOUTHAMPTON, ROYAUME-UNI

La vraie taille du mégalodon

PRÉHISTOIRE ***Otodus megalodon* : ce requin aux grosses dents (d'où son nom) aujourd'hui éteint, qui dominait les mers il y a entre 28 et 2,5 millions d'années, pouvait mesurer jusqu'à 16 mètres de long. Une évaluation déduite de la comparaison de ses dents avec celle des requins actuels. Sa tête aurait pu atteindre les 4,65 m et sa queue 3,85 m. Des proportions gigantesques qui auraient été constantes de la naissance à l'âge adulte. J. I.**

SOURCE : JACK COOPER, UNIVERSITÉ DE BRISTOL, ROYAUME-UNI.



OLIVER E. DEMUTH

Vous avez le sens de l'étiquette.
Bexley
Chaussures détente
Cuir patiné
99€
Prix Unique
69€ la 2ème paire au choix
Bien sûr, vous avez bon goût. Le bon goût de ne jamais faire de faute de goût quelle que soit l'occasion. Et pour ne jamais commettre d'impair vous choisissez Bexley et ses modèles assurément dans les bons codes de l'élégance, de ce qui fait l'étiquette dans toutes sociétés. Mais là où vous excellez en matière de bon goût, c'est que vous avez l'intelligence de ne pas y laisser votre chemise, de mettre le bon prix, le prix de l'exigence, de l'excellence des matières, des savoir-faire français et c'est aussi ça, avoir le sens de l'étiquette.
Nos boutiques
#lesensdeletiquette | Bexley.fr
AIX-EN-PROVENCE I ANNECY I BORDEAUX I PARLY 2 - LE CHESNAY I LILLE I LYON 1ER I LYON 2ÈME I LYON 6ÈME I MARSEILLE I NANTES I NICE I PARIS 4ÈME - HENRI IV I PARIS 6ÈME - SAINT GERMAIN I PARIS 7ÈME - RASPAIL I PARIS 8ÈME - CHAUVEAU LAGARDE I PARIS 8ÈME - CHAMPS ÉLYSÉES I PARIS 8ÈME - LA BOÉTIE I PARIS 15ÈME - VAUGIRARD I PARIS 17ÈME - PALAIS DES CONGRÈS I PARIS - LA DEFENSE I TOULOUSE I STRASBOURG I BRUXELLES

Des dinosaures naissaient avec une corne

VLADIMIR RIMBALA/MARTIN KUNDRAT

Ce crâne fossilisé d'embryon de titanosaure a révélé, après analyse en microtomographie et reconstitution, la présence d'une corne.

PALÉONTOLOGIE **Voici le premier fossile d'un crâne préservé en trois dimensions d'un sauropode, sans doute un titanosaure, l'un des plus grands dinosaures ayant vécu sur Terre. Son analyse par micro-tomographie au synchrotron à l'ESRF de Grenoble a permis de reconstituer l'apparence la plus plausible du crâne juste avant la naissance : elle révèle une sorte de corne temporaire qui aurait permis à l'animal de briser sa coquille. J. I.**

SOURCE : MARTIN KUNDRÁT, UNIVERSITÉ PAVOL JOZEF ŠAFÁRIK, KOŠICE, SLOVAQUIE.

Le disque de Nebra rajeunit de 1000 ans

Cette reproduction de la voûte céleste, supposée vieille de 3600 ans, pourrait être plus récente selon de nouvelles analyses.

Le disque a été découvert en 1999 par des fouilleurs clandestins dans des circonstances qui restent mal connues.

AFP

ARCHÉOLOGIE Coup de tonnerre dans le ciel de la protohistoire ! Le disque de Nebra, l'une des découvertes majeures de l'archéologie européenne, ne serait pas aussi ancien qu'estimé. Conservée au musée de Halle (Allemagne), la galette de bronze et d'or supposée vieille de 3600 ans était considérée comme la plus ancienne reproduction de la voûte céleste. Mais de nouvelles analyses sur les circonstances de sa découverte publiées par deux spécialistes, de l'université de Munich et de l'université Goethe de Francfort, remettent en question ces données : le disque, mis au jour par des fouilleurs clandestins avec des détecteurs de métaux en 1999 serait de 1000 ans plus récent. « *Il n'y a aucune preuve convaincante que les épées, les haches et les bracelets de l'âge du bronze [supposés récupérés en même temps que le disque] aient formé un même ensemble* », ont déclaré les scientifiques. Selon eux, les armes et bracelets proviennent bien d'un dépôt votif de l'âge du bronze, alors que le disque, lui, aurait été débusqué dans un autre gisement plus récent du mont Mittelberg. **B. A.**

AP/SIPA

Des centaines d'équidés, de camélidés et d'éléphantidés ont été mises au jour.

Le plus grand gisement de fossiles d'Amérique latine est à Mexico

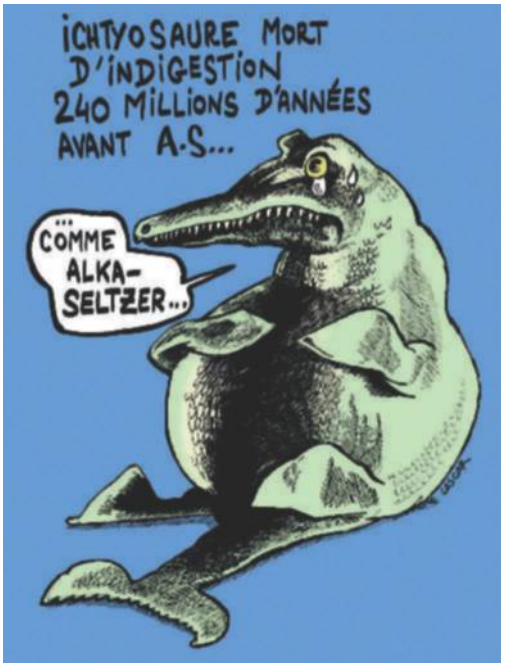
ARCHÉOLOGIE La construction du futur aéroport de Mexico continue de livrer des centaines de fossiles d'éléphantidés de camélidés et d'équidés. À tel point que ce gisement est désormais considéré comme le plus important d'Amérique latine. La région de Santa Lucia d'où émergent ces vestiges était autrefois l'ancien lac Xaltocan, une zone marécageuse très fréquentée par la mégafaune il y a 10 000 ans. **B. A.**

Quand les os des ancêtres devenaient des amulettes

ANTIQUITÉ Transformer le tibia d'un ancêtre en flûte, sifflet ou amulette : c'est ce qu'auraient fait, semble-t-il, des Britanniques de l'âge du bronze (2500-800 avant J.-C.) . Pour conserver parmi eux le souvenir de leurs proches décédés, ils auraient façonné certains restes osseux en instrument ou ornement, allant jusqu'à les emporter avec eux dans la tombe. **B. A.**

SOURCE : THOMAS BOOTH, FRANCIS CRICK INSTITUTE, LONDRES, ROYAUME-UNI.

L'œil de Lascar



L'ANALYSE D'UN FOSSILE d'ichtyosaure a révélé une surprise, façon poupées gigognes : dans le ventre de l'animal de 5 mètres de long, un autre reptile marin presque aussi gros que lui. Des restes d'un repas pantagruélique, peut-être fatal au monstre marin. **O. L.**

QUAND VOUS REFERMEZ UN

UNE NOUVELLE VIE S'OUVRE À LUI.

EN TRIANT VOS JOURNAUX, MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES, PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE PLUS DURABLE. DONNONS ENSEMBLE UNE NOUVELLE VIE À NOS PRODUITS.

CONSIGNESDETRI.FR

CITEO

Le nouveau nom d'Eco-Emballages et Ecofolio

Le canidé, une sous-espèce de *Canis lupus*, serait arrivé dans l'île il y a 50 000 ans

NATUREPL / EBPHOTO

Le chien chanteur de Nouvelle-Guinée n'a pas disparu

Une étude génétique a révélé que cette sous-espèce existe encore à l'état sauvage.

BIODIVERSITÉ Le chien chanteur de Nouvelle-Guinée, ainsi nommé en raison de son hurlement très modulé, existe encore à l'état sauvage et non uniquement dans des zoos ou sous des formes hybrides. Telle est la conclusion d'une étude génétique menée par des chercheurs américains et indonésiens. En 2018, ils avaient prélevé des échantillons de sang sur des spécimens vivant à plus de 4000 mètres d'altitude, autour de la mine de Grasberg à l'ouest de l'île, en Papouasie indonésienne. L'analyse génomique a révélé une diversité génétique typique d'une population sauvage, bien plus grande que celle des chiens élevés en captivité qui ne descendent que de huit individus. Cette sous-espèce a pour plus proche parent le dingo australien mais en diffère par de nombreux traits comme sa taille plus petite et sa vision adaptée à la chasse nocturne.
La capture de nouveaux spécimens va permettre d'enrichir le fonds génétique des chiens chanteurs conservés dans les zoos, ce qui améliorera leur préservation. Elle servira aussi à compléter le tableau génétique de ce chien retourné à la vie sauvage qui a dû arriver sur l'île avec les premiers humains, il y a 50 000 ans. **P. K.**

ARIANNE P. ORIÁ

Des larmes identiques dans le monde animal

ZOOLOGIE Chlorure, sodium, fer, potassium, calcium, urée : les larmes des reptiles et des oiseaux ont une composition similaire à celle des humains. Seules les proportions changent.
Si les larmes humaines contiennent le plus de protéines, elles renferment peu d'urée. **L. C.**

SOURCE : ARIANNE ORIÁ, UNIVERSITÉ DE BAHIA, BRÉSIL.

Une phéromone fait naître les nuages de criquets

ENTOMOLOGIE **Les regroupements de criquets pèlerins, sont dus à une phéromone, montrent des chercheurs chinois. Quand plus de trois individus sont réunis, ils libèrent du 4-vinylanisole, une molécule qui attire les autres criquets lesquels vont en produire à leur tour. Cette phéromone a permis de piéger des criquets, ce qui pourrait fournir un moyen de lutter contre ce fléau. P. K.**

SOURCE : XIAOJIAO GUO, ACADÉMIE CHINOISE DES SCIENCES, PÉKIN.

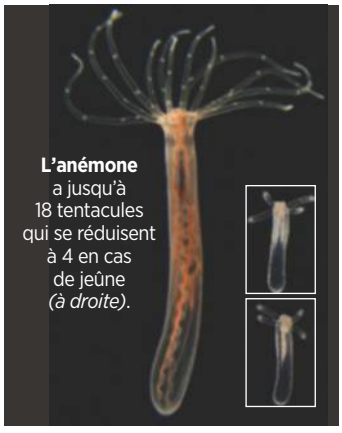
BORIS POLO/AP/SIPA

Les criquets peuvent se rassembler par milliards d'individus.

Manger plus... pour avoir plus de tentacules

BIOLOGIE MARINE Plus elle mange, plus l'anémone de mer développe de tentacules. Et ce, tout au long de sa vie. Une équipe internationale de chercheurs a observé qu'en situation de jeûne, *Nematostella ventensis* ne développe que 4 tentacules. Mais des cellules musculaires forment d'autres bourgeons de bras. Si bien que lorsque l'anémone reçoit des repas plus copieux, elle peut développer jusqu'à 18 tentacules ! **F. R.**

SOURCE : AISSAM IKMI, LABORATOIRE EUROPÉEN DE BIOLOGIE MOLÉCULAIRE, ALLEMAGNE.



L'anémone a jusqu'à 18 tentacules qui se réduisent à 4 en cas de jeûne *(à droite)*.

AISSAM IKMI ET AL.

Comment la mésange à longue queue évite l'inceste

ORNITHOLOGIE La mésange à longue queue vit en communautés soudées d'une douzaine d'individus mais les partenaires sexuels ne sont jamais génétiquement apparentés. Son secret : chaque spécimen forme un couple avec un autre dont le chant diffère nettement du sien, les oiseaux d'une même nichée chantant de façon similaire. **P. K.**

SOURCE : AMY LEEDALE, UNIVERSITÉ DE SHEFFIELD, ROYAUME-UNI.

1% FOR THE PLANET

Ushuaïa TV

Explorer. S'émerveiller. Protéger.

en partenariat avec PARISCIENCE

ASTÉROÏDES, LE NOUVEL ELDORADO SPATIAL ? Mardi 20 octobre 20.45

NANOSURVIES, LES POUVOIRS INVISIBLES DE LA NATURE Vendredi 23 octobre 20.45 - **Inédit**

5°C DE PLUS Samedi 24 octobre 20.45 - **Inédit**

LES IMMORTELS Mardi 27 octobre 20.45 - **Inédit**

PROGRAMMATION SPÉCIALE

UNE SEMAINE DE SCIENCE

du 20 au 27 octobre

bouygues canal 120 | CANAL+ canal 117 | free canal 204 | orange canal 123 | SFR canal 173 | BIS canal 32 | REPLAY TV | VIDEOFUTUR canal 117

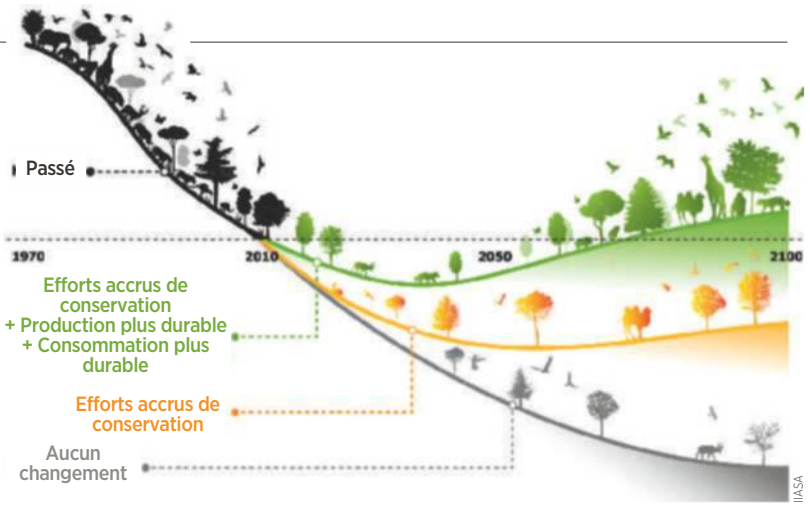
REPLAY DISPONIBLE JUSQU'À **60 JOURS**

Suivez-nous sur **ushuaiatv.fr**

© Nomades & Mélusine productions - 2019 / French Connection Films-La Belle Société Production / One Planet / Guindala Production - Ampersand

La biodiversité n'est pas (encore) perdue

ENVIRONNEMENT Non, il n'est pas trop tard pour stopper l'érosion de la biodiversité tranche une étude de l'International Institute for Applied Systems Analysis, un organisme de recherche autrichien indépendant. Mais protéger 30 % de la surface terrestre *(courbe orange)* ne sera pas suffisant. Il faut aussi orienter le modèle agricole vers des méthodes respectueuses de l'environnement, lutter contre le gaspillage alimentaire et réduire la consommation de viande *(courbe verte)*. **L. C.**



Il faut protéger la nature (en orange), mais aussi produire et consommer autrement (en vert).

7,7 °C L'écart de température moyenne entre le xxe siècle et le dernier âge glaciaire

CLIMATOLOGIE Cet écart explique pourquoi les régions d'Europe, d'Asie et d'Amérique où vivaient les mammouths laineux et tigres à dents de sabre, il y a environ 20 000 ans, étaient gelées. Elle a été établie précisément à partir des données de planctons fossilisés du monde entier, qui gardent en mémoire la température des mers, et des simulations climatiques du dernier maximum glaciaire. **R. M.**

SOURCE : JESSICA E. TIERNEY, UNIVERSITÉ D'ARIZONA, ÉTATS-UNIS.

Un seul gène a rendu la vigne hermaphrodite

ÉVOLUTION Sexuée à l'origine, la vigne est devenue hermaphrodite, permettant ainsi à chaque fleur de produire du raisin. Cette évolution est due à la mutation d'un seul gène, affirment des chercheurs de l'Inrae, du CNRS et de l'université Lyon-1. À partir du séquençage de la vigne sauvage *Vitis sylvestris*, ils ont déterminé que le gène responsable de la formation des carpelles (un organe femelle) a été inhibé, rendant la plante à la fois mâle et femelle. **L. C.**

Comment le CO_2 dope la photosynthèse

BOTANIQUE Des feuilles de 23 millions d'années quasi intactes ont été retrouvées dans des couches géologiques d'un ancien volcan en Nouvelle-Zélande. Ces végétaux ont poussé dans une atmosphère de 450 ppm de CO_2, des teneurs qui devraient être atteintes à nouveau en 2040. Leur examen révèle que la hausse des gaz à effet de serre devrait améliorer la photosynthèse des plantes qui pousseront plus vite. **L. C.**

SOURCE : TAMMO REICHGELT, UNIVERSITÉ COLUMBIA, PALISADES, ÉTATS-UNIS.

JENNIFER BANNISTER/UNIVERSITY OF OTAGO - TAMMO REICHGELT/UNIVERSITY OF CONNECTICUT

Feuille de 23 millions d'années trouvée quasi intacte. À droite, vue au microscope.

3Q-MIKAA MERE

QUESTIONS À

Mikaa Mered

Géopolitologue des mondes polaires, professeur à l'Institut libre d'étude des relations internationales (Ileri) à Paris

« Forages en Alaska : un processus irréversible »

Le gouvernement américain a annoncé le 17 août l'ouverture à l'exploration pétrolière d'une zone protégée de l'Alaska, aux États-Unis.

Où ce projet se situe-t-il ?
Depuis les années 1960, le pétrole est exploité à Prudhoe Bay, sur les rives de l'océan Arctique. À l'ouest, s'étend le parc national ANWR (Arctic National Wildlife Refuge), un sanctuaire de 79 000 km². Le sous-sol de sa frange côtière abriterait plus de 10 milliards de barils de pétrole. Mais démocrates et républicains n'ont jamais réussi à s'entendre sur son sort : depuis 1977, les seconds avaient tenté 50 fois de faire voter son ouverture à l'industrie pétrolière. Jusque-là sans succès

Qu'est-ce qui a changé ?
En Alaska, la production pétrolière chute, l'économie se contracte. Pour la relancer, ses gouverneurs conservateurs sont partisans de la prospection de l'ANWR. Des sociétés autochtones y sont aussi favorables, par intérêt économique. Surtout, depuis 2017, les républicains disposent pour la première fois du contrôle simultané des deux chambres du Congrès.

Le cadre légal est-il respecté ?
Les républicains ont passé en décembre 2017 un « cavalier législatif » [un article de loi sans rapport avec le projet qui l'inclut] qui autorise l'exploitation de cette zone. L'étude d'impact, bouclée en une semaine, a donné en 2019 son feu vert à la vente des terrains. En dépit des recours, le processus est irréversible : la loi impose la vente de 3200 km² aux pétroliers d'ici à 2024.

Propos recueillis par S. R.

Europe 1

© Thomas de Luze

L'implant cérébral d'Elon Musk passe en phase de test

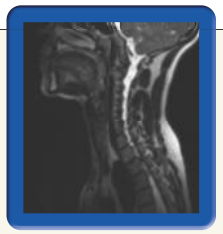
Cette expérimentation sur des truies va servir à enregistrer l'activité des neurones des animaux avant un essai clinique sur des personnes paraplégiques.

D'un diamètre de 23 mm, la puce (ici présentée par Elon Musk, président de Neurolink), serait insérée dans le cerveau de personnes paralysées pour leur permettre de contrôler un ordinateur « par la pensée ».

AFP- NEURALINK

NEUROLOGIE L'entrepreneur américain Elon Musk a annoncé, lors d'une récente présentation, l'implantation de son interface cerveau-machine Neuralink sur deux truies, Gertrude et Dorothy. De la taille d'une pièce de monnaie et inséré dans le crâne, le dispositif projette dans le cerveau 1024 fibres porteuses d'électrodes d'enregistrement et de stimulation, avec une batterie rechargeable de l'extérieur. Les deux cochons ont été ainsi équipés et l'activité de leurs neurones, enregistrée.

« *Le système Neuralink tient plus d'une avancée d'ordre technologique que conceptuelle* », tempère le professeur Mircea Polosan, chef de service de psychiatrie au centre hospitalier universitaire de Grenoble et chercheur à l'Inserm, qui rappelle que la stimulation cérébrale profonde a été élaborée en 1987 au CHU de Grenoble et est utilisée désormais pour traiter des pathologies telles que la maladie de Parkinson. Le premier essai clinique de Neuralink, concernera, selon Elon Musk, des personnes souffrant de paraplégie ou de tétraplégie. L'implant pourrait leur permettre d'écrire ou de contrôler un ordinateur « par la pensée ». **E. S.**



EPFL

À VOIR SUR LE NET

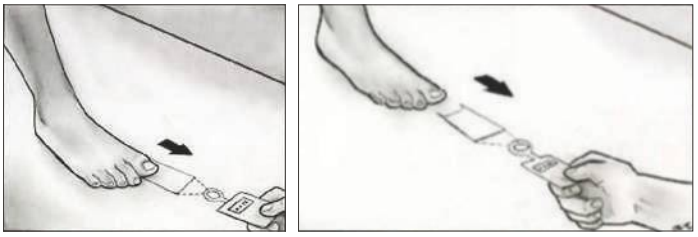
L'activité de la moelle épinière sur le vif

IMAGERIE Des images du cerveau en activité, les scientifiques en avaient, mais saisir l'activité des neurones de la moelle épinière est une première : ce canal essentiel du système nerveux d'à peine 1,5 cm de diamètre, qui permet le contrôle des bras et des jambes, a été étudié de façon inédite par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse). La technique est semblable à celle utilisée pour le cerveau : l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). **M. N.** sciav.fr/884moelleIRM

Les antibiotiques associés aux maladies inflammatoires de l'intestin

PHARMACOLOGIE La prise d'antibiotiques, notamment de céphalosporines, est associée à un risque plus élevé de déclarer par la suite une maladie de Crohn ou une rectocolite hémorragique. Ce risque s'accroît avec le nombre de cures d'antibiotiques, indépendamment des facteurs génétiques. **P. K.**

SOURCE : LONG NGUYEN, HARVARD MEDICAL SCHOOL, BOSTON, ÉTATS-UNIS.



Le test évalue la capacité à se maintenir en équilibre liée à la force de préhension du gros orteil, mesurée ici en retirant un bout de papier placé dessous.

L'équilibre est dans l'orteil

POSTUROLOGIE Glisser sous le gros orteil d'une personne âgée un papier et le retirer tout en lui demandant de le retenir permet de prédire le risque de chutes. En effet, la force de préhension de l'orteil est fortement liée à celle des muscles du pied et de la cheville et à la capacité à se maintenir en équilibre. L'équipe de biomécanique du mouvement humain à l'université du Staffordshire (Royaume-Uni) propose ainsi un nouveau test facile à mettre œuvre. S. R.-M.

JOSH THOMAS/STAFFORDSHIRE UNIVERSITY

IL A DIT

« La victoire sur le poliovirus sauvage en Afrique est l'une des plus grandes réalisations de santé publique de notre temps »

Tedros Adhanom Ghebreyesus, directeur général de l'Organisation mondiale de la santé, annonçant que la Région africaine était exempte de poliomyélite.

Transformer la vie des patients par la science™

S'unir, c'est oser conjuguer les talents et les expertises d'une recherche agile et d'un développement robuste pour créer une entreprise biopharmaceutique de premier plan.

Innover, c'est oser explorer de nouvelles voies thérapeutiques pour proposer des médicaments qui transforment la vie des patients.

Soutenir, c'est oser s'engager pour aider les patients à vaincre des maladies graves comme les cancers, les pathologies du système immunitaire, les maladies cardiovasculaires ou les fibroses. Aucune approche n'est trop audacieuse pour servir les patients.

Une vision unique nous anime : Transformer la vie des patients par la science.

Bristol Myers Squibb™

Pour en savoir plus sur Bristol Myers Squibb, consultez bms.com/fr ou suivez-nous sur YouTube et Twitter @BMSFrance

NOFR2000510-01 – NP – Juin 2020

J. STEFFANN

QUESTIONS À

Pr Julie Steffann

Cheffe du service de génétique moléculaire, hôpital Necker-Enfants malades, à Paris

« Personne n'est prêt pour une thérapie génique sur l'embryon humain »

ÉTHIQUE Après l'expérience illégale menée par He Jiankui en Chine ayant conduit à la naissance en 2018 des premiers bébés issus d'embryons génétiquement modifiés (*lire* S. et A. *n° 876, février 2020*), un comité international de 18 experts vient de rendre un rapport sur l'application d'une potentielle thérapie génique sur l'embryon.

À quelle conclusion ce rapport a-t-il abouti ?
Aujourd'hui, il y a un risque très important d'appliquer une thérapie génique sur l'embryon humain avec l'outil d'édition du génome CRISPR. Malgré sa précision, le risque d'insérer une modification autre que celle souhaitée est réel. Par ailleurs, il arrive que la réparation ne se fasse pas de façon homogène dans toutes les cellules. La conclusion, c'est que personne n'est prêt.

Mais si ces problèmes étaient surmontés ?
Nous avons beaucoup restreint les indications potentielles. Nous avons conclu qu'il faudrait que les couples présentent un risque d'au moins 75 % d'avoir des embryons porteurs d'une maladie génétique mettant prématurément en jeu le pronostic vital. Nous avons refusé l'idée de faire une liste de maladies, car il faudra faire du cas par cas.

De nouvelles techniques risquent-elles d'accélérer les choses ?
Oui, c'est certain. On commence déjà à utiliser en recherche des outils biochimiques permettant de modifier l'ADN lettre à lettre. C'est pour cela qu'il faut réfléchir dès maintenant à la mise en application. **Propos recueillis par H. J.**

WENXIANG ZHAO ET AL.

La petite bio-imprimante 3D pourrait être insérée dans l'estomac pour imprimer du tissu directement sur une plaie.

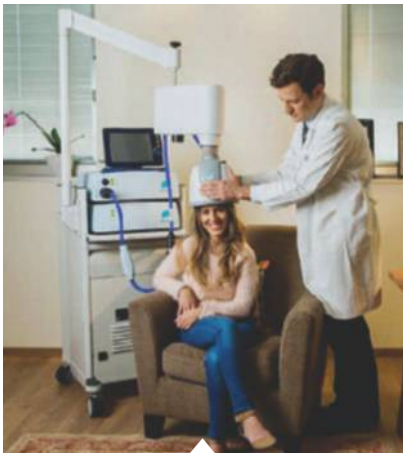
Un microrobot répare l'estomac

GASTRO-ENTÉROLOGIE C'est peut-être le traitement du futur pour les ulcères. Une équipe de l'université Tsinghua (Pékin, Chine) vient d'apporter la première preuve d'efficacité d'un microrobot pour réparer l'estomac de l'intérieur. Le dispositif pliable devra d'abord être introduit dans le corps par un endoscope, où il se dépliera pour réaliser son opération de bio-impression au niveau même de la plaie. **S. R.-M.**

23 % L'augmentation du risque de surpoids par heure de sommeil en moins chez les enfants

PHYSIOLOGIE **Cette étude porte sur 3734 enfants âgés de 2 à 11 ans dans huit pays européens. Elle pointe également le rôle des écrans, sans pouvoir toutefois avancer un chiffre statistiquement significatif de leur influence.** **M. N.**

SOURCE : VIVEKA GUZMAN, ROYAL COLLEGE OF SURGEONS, IRLANDE.


BRAINSWAY

Le casque engendre un champ magnétique qui cible les circuits neuronaux liés à l'addiction.

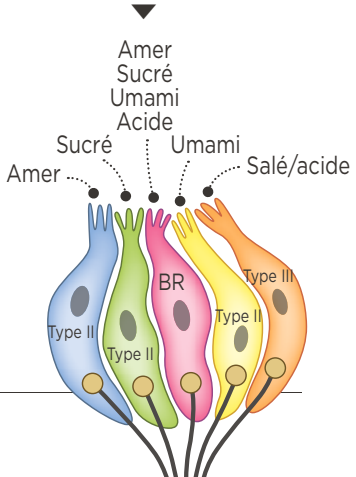
La stimulation magnétique pour arrêter le tabac

ADDICTOLOGIE Cibler les neurones de l'addiction pour arrêter de fumer : c'est le nouvel objectif du dispositif de stimulation magnétique transcrânienne, BrainsWay. Il vient d'obtenir le feu vert de la FDA, l'agence américaine du médicament. Lors d'une expérience sur 262 adultes, 28 % de ceux qui avaient reçu une stimulation ont réussi à arrêter contre 11 % chez ceux pour lequel l'appareil n'avait pas été activé. **S. R.-M.**

Découverte de cellules du goût

ANATOMIE **C'est en réalisant des manipulations génétiques chez la souris qu'une équipe de l'université de l'État de New York, à Buffalo (États-Unis), a découvert une nouvelle catégorie de cellules gustatives, capables de détecter un large éventail de saveurs. On connaissait jusque-là celles réagissant à l'amer, au sucré, à l'umami, à l'acide ou salé. Les chercheurs ont trouvé un nouveau type qui regroupe ces quatre saveurs. Reste à montrer qu'elles existent aussi chez l'humain.** **E. S.**

Le nouveau type de cellules (ici en rose) reconnaît toutes les quatre saveurs.



BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : JHANNA FLORA AND KATHRYN MEDLER

PUBLICITÉ

Fonctionnement du cerveau

Mémoriser, raisonner, anticiper, planifier, comprendre… les capacités du cerveau sont illimitées.

Au rythme du cerveau

Le cerveau émet en permanence des ondes dont la fréquence dépend de son activité. Eveil, sommeil, phase intense de réflexion : pour chaque état cérébral, l'activité neuronale est caractérisée par un type d'onde.

Ondes alpha, bêta, gamma : leur rôle est complexe et leur émission par le cerveau dépend de nombreux facteurs, comme l'état psychologique ou encore l'alimentation.

Des études récentes ont par exemple montré le lien étonnant entre Thé vert et ondes alpha. Les feuilles de Thé vert contiennent naturellement une substance appelée L-théanine. Malgré son nom, elle n'a aucun lien avec la théine et ne provoque aucune excitation, bien au contraire. La L-théanine régule la production d'ondes alpha : en situation d'effort intellectuel prolongé, elle est capable de diminuer leur production par le cerveau, ce qui favorise la mémorisation et la concentration. À l'inverse, si le cerveau se trouve en phase d'endormissement, elle stimule leur émission, d'où un effet relaxant propice au sommeil.

Théorie des signatures

La Théorie des Signatures était une méthode d'observation dans l'Antiquité, selon laquelle l'aspect des plantes était une indication de leurs bienfaits pour le corps. La science moderne a depuis confirmé l'efficacité de certaines plantes sur la partie du corps à laquelle elles ressemblent. Ainsi débarrassée de sa coque, la Noix ressemble fortement à un cerveau. Elle est riche en Omegas et en antioxydants, et plusieurs études ont montré ses bienfaits sur la mémoire.

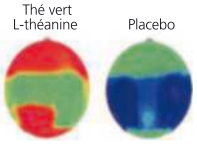
Indispensable irrigation

Le cerveau est incapable de constituer des réserves, et doit donc être alimenté en permanence en glucose. Celui-ci est apporté grâce à un vaste réseau de capillaires, de petits vaisseaux sanguins qui permettent d'irriguer efficacement l'ensemble du cerveau. Leurs fines parois laissent passer le glucose mais aussi l'oxygène indispensable au bon fonctionnement du cerveau. En effet, quelques minutes seulement sans oxygène y entraîne des lésions irréversibles. Là encore, l'alimentation et le mode de vie en général jouent un rôle primordial. La consommation d'aliments riches en antioxydants qui protègent les capillaires, et plus spécifiquement en polyphénols, influence directement le fonctionnement cérébral. Les recherches convergent notamment sur le Pin maritime, dont l'écorce renferme de grandes quantités de proanthocyanidines ou OPC, des polyphénols capables de stimuler la microcirculation sanguine dans les capillaires.

B comme bénéfiques

Le cerveau utilise aussi une multitude de vitamines et minéraux pour fonctionner. Un apport suffisant en vitamines B est particulièrement bénéfique pour maintenir des fonctions cognitives normales (mémoire, concentration, attention). La vitamine B5 par exemple est essentielle à la production de neurotransmetteurs, des substances chimiques qui permettent aux signaux électriques de passer d'un neurone à l'autre pour faire circuler l'information.

Le cerveau passé au scanner



L'activité cérébrale peut être observée grâce au scanner qui met en évidence les zones activées en fonction de l'état dans lequel se trouve le cerveau. La consommation de L-théanine (en rouge) active les zones de la mémoire et de la concentration. Sans L-théanine, ces zones restent inactives (en bleu). Les nombreux travaux de recherche effectués sur le fonctionnement du cerveau ont permis de mettre au point des solutions pour améliorer les fonctions cognitives et les performances intellectuelles. Le laboratoire de recherche végétale New Nordic a mis au point une formule complètement naturelle à base de plantes et vitamines. Baptisée **Cerveau Clair**, elle contient des extraits concentrés de Thé vert, de Noix, de Pin maritime et de Grenade, associés à des vitamines et de l'Iode pour optimiser les performances cérébrales. Ces actifs sont capables d'atteindre le cerveau en quelques heures et sont efficaces sur le long terme. Ils sont donc indiqués pour stimuler les capacités intellectuelles, la concentration et la mémoire, notamment en période de révisions ou d'examens, mais aussi pendant des programmes de plusieurs mois. Les actifs de **Cerveau Clair** atteignent rapidement le cerveau, pour une efficacité en moins d'une heure. Réservé aux adultes de plus de 15 ans.

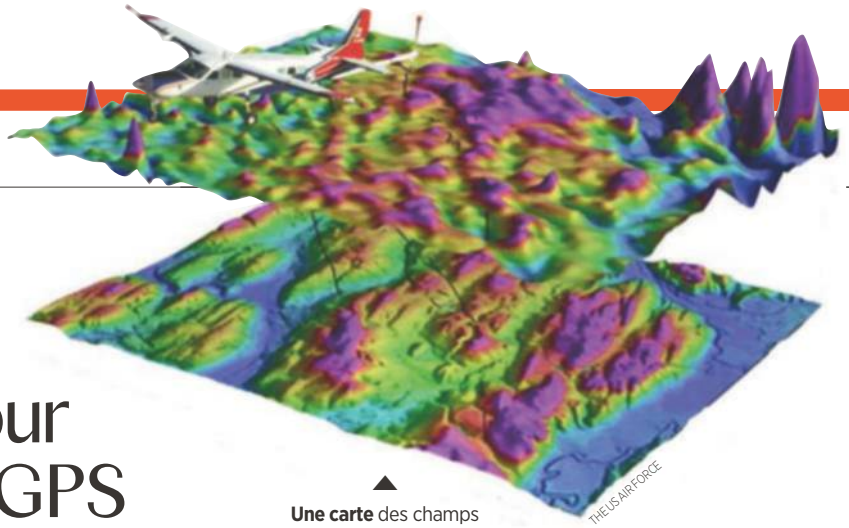
Cerveau Clair 60 cp est disponible en pharmacie et espaces diététiques sous le code **ACL 295 18 63**

Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 84 19 82 25 (tarif local).

www.vitalco.com

Le champ magnétique pour concurrencer le GPS

Un projet de recherche vise à transformer les signaux du champ magnétique terrestre en cartes utilisables en aéronautique.



THE U.S. AIR FORCE

Une carte des champs magnétiques terrestres permettrait de localiser et guider les avions ou les missiles avec un magnétomètre.

ESPACE L'armée américaine lance un concours public pour créer une intelligence artificielle (IA) capable de transformer les enregistrements de champs magnétiques terrestres en cartes utilisables pour les avions et les missiles. L'objectif est de trouver une alternative au signal GPS qui, émis par des satellites à plus de 19 000 km d'altitude, peut être brouillé ou manipulé durant son voyage. L'idée d'utiliser le champ magnétique émanant de la croûte terrestre revient à Aaron Canciani, chercheur à l'Institut de technologie de l'armée de l'air américaine : l'intensité de ce signal stable à l'échelle géologique varie selon la topographie. En 2017, le chercheur avait déjà équipé quatre avions de deux magnétomètres chacun, mais les signaux captés par ces derniers étaient pollués par des interférences liées au fonctionnement de l'avion. Ce sont ces bruits parasites qu'une IA doit apprendre à reconnaître et effacer, autorisant ainsi une meilleure précision du système. **S. R.**

Une voiture volante a été pilotée

AUTOMOBILE La start-up japonaise SkyDrive, soutenue par le constructeur automobile Toyota, a réussi à faire voler durant 5 minutes un engin à décollage et atterrissage vertical dirigé par un pilote. Une performance car ce genre d'appareil est d'ordinaire autonome. Ici, seule la stabilité et la sécurité étaient contrôlées par informatique. **A. D.**

KEPPLAIR EVOLUTION

Le réservoir avec son système de largage est installé au centre de l'avion.

Des avions de ligne transformés en bombardiers d'eau

SÉCURITÉ CIVILE La société française Kepplair Evolution vient de valider en laboratoire son concept de réservoir pour transformer des gros-porteurs en bombardiers d'eau. L'objectif est de proposer un avion capable d'intervenir dans toute l'Europe sur les incendies de forêt ou de sites industriels. Si le prototype n'est pour le moment qu'à l'échelle 1/3, les premiers essais en vol pourraient se dérouler dès 2022. **O. H.**

Une Game Boy alimentée par l'énergie des doigts

ÉLECTRONIQUE Des chercheurs de l'université Northwestern (États-Unis) et de l'université de technologie de Delft (Pays-Bas) ont modifié une console portable de jeux vidéo Game Boy de Nintendo (1989) pour qu'elle fonctionne sans piles, uniquement grâce à l'énergie solaire et à celle récupérée par la pression des doigts sur les boutons. **A. D.**

E INK-GOODEREADER.COM

Doté d'un écran de 26 cm de diagonale, l'appareil a une reliure solide qui permet de le refermer tel un livre.

La liseuse pliable à manipuler comme un livre

NUMÉRIQUE Cet écran tactile de 26 cm de diagonale se trouve à l'intérieur d'une coque rigide qui s'ouvre et se referme tel un livre. Il s'agit d'un prototype développé cet été par un laboratoire d'E Ink, spécialiste taïwano-américain des technologies d'encre électronique et d'écran souple. Outre la lecture, l'appareil permet de prendre des notes au stylet et d'éditer des documents. Une barre LED rétractable en haut de chaque côté éclaire l'écran. **A. D.**

L'aide à la conduite prise en défaut

AUTOMOBILE 66 % de collisions ! C'est le terrible résultat obtenu par l'American Automobile Association lors d'un test au cours duquel des voitures dotées d'un système de conduite autonome trouvaient sur leur chemin une voiture (en mousse) à l'arrêt sur le bord de la route et empiétant sur la chaussée. Preuve que les systèmes de détection peinent encore à identifier des objets immobiles. **A. D.**

AAA

La voiture équipée d'un système d'aide à la conduite n'a pas détecté le véhicule à l'arrêt sur le bas-côté.

YANG ET AL.

RoBeetle avance grâce à la combustion de méthanol.

Ce robot carbure à l'alcool

ROBOTIQUE Mesurant 15 millimètres de long pour un poids plume de 88 milligrammes, le robot RoBeetle rampe pendant plus de deux heures… sans la moindre batterie ! Il utilise un réservoir à méthanol dont les vapeurs brûlent à la surface de « muscles artificiels » recouverts d'un catalyseur en platine. La chaleur libérée contracte ainsi les matériaux, formant des pas de quelques millimètres. **F. D.**

SOURCE : X YANG, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE DU SUD, ÉTATS-UNIS.

178 térabits par seconde

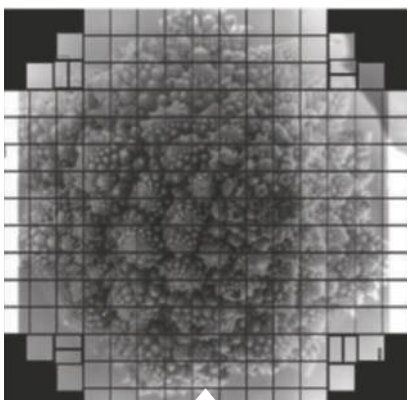
Le nouveau record de transmission de données

NUMÉRIQUE **Soit 178 000 milliards de bits ! De quoi télécharger le catalogue de Netflix en moins d'une seconde. À titre de comparaison, les meilleures connexions Internet par fibre optique à domicile en France plafonnent à… 2 gigabits/s. L'équipe de Lidia Galdino à l'university College de Londres (Royaume-Uni) a réalisé cet exploit en multipliant les longueurs d'onde du signal dans la fibre.** **M. N.**

Voici l'image la plus détaillée au monde

PHOTOGRAPHIE Pour afficher les 3,2 milliards de pixels de cette image, il faudrait 378 téléviseurs 4K. Elle a été obtenue avec un appareil photo composé d'un réseau de 189 capteurs de 16 mégapixels chacun. Testé sur ce chou romanesco, il est destiné à équiper l'observatoire Vera Rubin au Chili pour photographier le ciel austral. **M. B.**

LSST CAMERA TEAM/SLAC NATIONAL ACCELERATOR LABORATORY/RUBIN OBSERVATORY



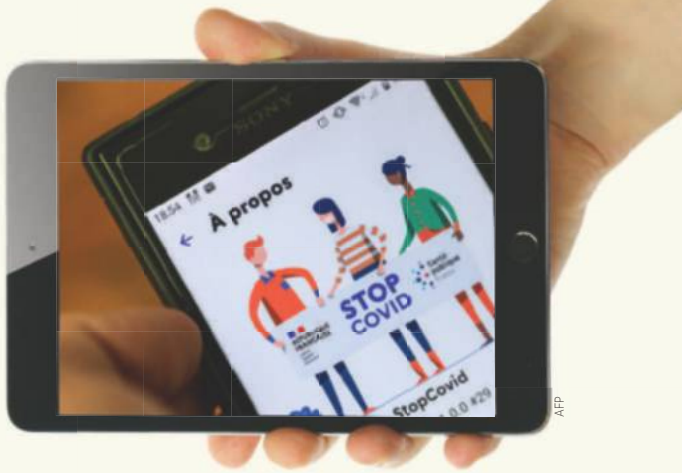
Ce chou romanesco a été photographié par un réseau de 189 capteurs de 16 mégapixels chacun.

www.sciencesetavenir.fr
www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et La Recherche
au quotidien

TECHNO

Contrôle numérique et menace pandémique

StopCovid en France ou Corona-Datenspende en Allemagne. Deux exemples d'application pour smartphones parmi d'autres, pour suivre des individus touchés par le Covid-19. Les scientifiques Stéphane Grumbach et Caroline Zanin décryptent les différences entre ces programmes. tinyurl.com/yy7q8o6x **La Recherche**



AFP

PALÉOGRAPHIE

L'IA décrypte les textes anciens

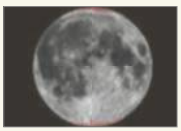
Des chercheurs israéliens en intelligence artificielle ont reconstitué des écrits babyloniens marqués sur des tablettes d'argile. Grâce à l'apprentissage profond, ils ont exhumé ces textes écrits en akkadien pendant la civilisation babylonienne de l'Empire achéménide (539 à 331 avant J.-C.). sciav.fr/884IA SCIENCES AVENIR

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ…

2 minutes

Astro.
La Lune qui rouille



SHUALI LI/UNIVERSITY OF HAWAI/NASA

La présence d'oxydes de fer sur notre satellite naturel intrigue les planétologues. Ils se formeraient grâce à de l'oxygène terrestre voyageant à la pleine lune. sciav.fr/884Lune

10 minutes

Archéo.
Du nouveau à Rouffignac

FRÉDÉRIC PLASSARD ET MORGANE DACHARY

Pas moins de 13 nouvelles figures, parmi lesquelles une potentielle silhouette féminine, ont été mises au jour durant le confinement. sciav.fr/884Rouffi

15 minutes

Nature.
Betterave sans néonicotinoïdes

AFP

Peut-on se passer de ce pesticide pour cultiver la betterave ? Oui mais il faudra que les agriculteurs changent leurs pratiques agronomiques… sciav.fr/884betterave

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

ADN

Faut-il faire confiance aux tests génétiques ?

La baisse des coûts de l'analyse de l'ADN humain a ouvert un marché florissant à destination du grand public : recherche des origines, évaluation du risque de contracter une maladie... Pour y voir plus clair, « Sciences et Avenir » décrypte l'intérêt et la portée des différents tests génétiques proposés.

Dossier réalisé par
Hugo Jalinière, Hervé Ratel
et Elena Sender

Il a fallu quinze ans et 2,7 milliards de dollars pour obtenir le tout premier séquençage d'un génome humain en 2003. Aujourd'hui, quelques heures suffisent pour un coût de moins de 1000 dollars. Une « démocratisation » de l'analyse ADN qui a ouvert un marché florissant qui devrait frôler les six milliards de dollars en 2022, contre 4,6 milliards en 2017. Selon la revue du Massachusetts Institute of Technology (MIT, Cambridge, États-Unis), en 2019, 26 millions de personnes dans le monde avaient déjà commandé sur Internet un kit d'analyse auprès de la vingtaine d'entreprises privées qui ont fleuri au cours des années 2000 : 23andMe, MyHeritage, LivingDNA, Gene by Gene, AncestryDNA... Et d'ici à 2021, celles-ci devraient disposer des données génétiques de 100 millions de personnes !

Ces entreprises font mille et une promesses comme la recherche des origines ethniques et géographiques de chacun. Celle-ci repose, certes, sur une technique désormais fiable... à condition de disposer de bases de données bien constituées, ce qui est loin d'être le cas *(lire p. 32)*. Surtout, elles proposent d'évaluer le risque génétique pour chacun d'être un jour atteint de telle ou telle maladie (Parkinson, Alzheimer, diabète, cancers...). Las ! cette quête a tout du miroir aux alouettes. Car s'il est relativement simple d'isoler le gène défectueux responsable des maladies dites monogéniques — et de pouvoir ainsi alerter à coup sûr son porteur sur la menace qui pèse sur lui —, il n'en va pas de même

GETTY IMAGES

CE QUE DIT LA LOI

En France, le code civil n'autorise *« l'examen des caractéristiques génétiques d'une personne [...] qu'à des fins médicales ou de recherche scientifique »*. La finalité du projet de recherche doit en outre avoir reçu le consentement de la personne concernée, celui-ci étant *« révocable à tout moment »*. Seule la justice peut en ordonner la réalisation à des fins d'enquête.

pour l'immense majorité des pathologies. Celles-ci étant multifactorielles, le risque pour un individu de déclencher la maladie dépend en effet de plusieurs variations génétiques sur plusieurs gènes différents, mais aussi de l'environnement dans lequel il vit, voire de celui de ses parents. Le diabète de type 2 en est un exemple particulièrement frappant *(lire p. 36)*. La compréhension et l'interprétation de ces milliards de données médicales ne peuvent ainsi relever que d'une recherche scientifique travaillant sur des génomes entiers, et non sur les quelques « variants » sélectionnés par des sociétés privées afin de réduire les coûts d'analyse…

L'encadrement des tests contraint la recherche

C'est la raison pour laquelle, en France, le recours aux tests génétiques est rigoureusement encadré. Faire analyser son ADN — même à l'étranger — en dehors des conditions prévues par la loi, est strictement interdit *(lire p. 30)*. Sauf que la loi n'est pas appliquée. Selon les estimations, 100 000 à 200 000 Français commandent ces kits chaque année sans qu'aucune sanction n'ait jamais été prise.

À l'heure où les parlementaires débattent de la révision de la loi de bioéthique, l'encadrement de ces tests ne satisfait donc ni les acteurs privés voulant investir un marché d'avenir, ni la recherche en sciences médicales encore très contrainte dans ses projets. Quelle est la portée des différents tests génétiques proposés ? Que disent-ils vraiment ? Comment ? Et si *« l'ADN ne ment pas »*, dit-on, peut-il et doit-il pour autant dévoiler toute la vérité ? Rien n'est moins sûr. ■ **H. J.**

Mais qui sont mes ancêtres ?

Les tests génétiques pour la généalogie connaissent un succès croissant auprès du grand public. Mais permettent-ils d'éclairer vraiment les origines ethniques ou géographiques des individus ?

« LA RECHERCHE DES ORIGINES, *ce n'est pas un jeu, c'est très sérieux !* », s'agace Jacques Le Marois lorsqu'on utilise devant lui le terme « récréatifs » pour qualifier les tests génétiques proposés sur Internet par des sociétés étrangères comme 23andMe (États-Unis) ou MyHeritage (Israël), pour ne citer que les plus connues. *« Nous préférons le terme de tests génétiques généalogiques »*, poursuit le président de Geneanet, site de généalogie fondé en 1996 et qui revendique aujourd'hui trois millions de membres, 800 000 arbres généalogiques et six milliards de noms d'ancêtres collectés. La précision sémantique est d'importance pour l'entreprise, car elle s'est lancée récemment dans un audacieux contournement de la loi française qui interdit strictement ces tests et le traitement des données sur le territoire national *(lire l'encadré p. 30)* : depuis février, Geneanet propose en effet à ses membres qui auraient pris le risque de faire analyser leur ADN par des entreprises étrangères de leur faire parvenir les résultats. L'objectif ? Créer une vaste base de données génétiques afin de trouver des correspondances entre les ADN des férus de généalogie venus du monde entier, et leur faire ainsi découvrir de nouveaux cousinages.

50 %
La part d'ADN que chacun partage avec sa mère, son père ou ses enfants.

Des marges d'erreurs plus ou moins importantes

« Quand une personne enregistre les résultats de son test sur notre site, nous pouvons les comparer à ceux stockés dans la base de données et obtenir ainsi un pourcentage d'ADN partagé avec un autre membre. Nous le faisons à partir du nombre et de la taille des segments d'ADN retrouvés en commun », explique Jonathan Grandaubert, passé par l'Institut Pasteur et aujourd'hui ingénieur développement généalogie chez Geneanet. Ainsi, plus le segment partagé par deux personnes est long, plus la probabilité qu'il ait été hérité d'un ancêtre commun est grande. Il ne reste plus alors qu'à rapporter la longueur des segments — et donc le pourcentage d'ADN partagé — au degré de parenté : chacun partage environ 50 % de son ADN avec son père, sa mère ou ses enfants ; 25 % avec ses grands-parents, ses oncles et

JONATHAN GRANDAUBERT

« Avec 0,7 % d'ADN partagé, le lien de parenté est très probable, même s'il est très difficile à établir »
Jonathan Grandaubert, ingénieur développement généalogie chez Geneanet

GÉNOME

Deux techniques pour analyser l'ADN

GETTY IMAGES - IMAGE SOURCE / AFP

1

Séquençage

Le séquençage entier détermine l'ensemble des 3 milliards de bases nucléotides (A, C, G, T) qui composent le génome. Il offre une vision exhaustive des variants génétiques et coûte quelques centaines d'euros.

2

Génotypage

Il consiste à n'observer que certains points choisis du génome sur des puces à ADN préprogrammées. Environ 600 000 marqueurs ou variants sont ainsi choisis par les sociétés privées, généralement les plus fréquents. Il permet une analyse rapide pour un coût de moins de 20 €.

tantes ou encore ses demi-frères et demi-sœurs ; 12,5 % avec ses arrière-grands-parents et ses cousins germains ; et ainsi de suite, jusqu'à la huitième génération… dans le meilleur des cas. *« Des phénomènes de recombinaisons génétiques lors de la reproduction peuvent introduire des marges d'erreurs plus ou moins importantes dans la comparaison des ADN. Certaines recombinaisons peuvent ainsi empêcher d'identifier avec certitude un cousin de la quatrième génération, par exemple. »* Autrement dit, il existe une variation à chaque génération qui peut s'avérer significative dès la deuxième. Toutefois *« si l'on partage entre 0,5 % et 0,7 % d'ADN avec quelqu'un, un lien de parenté est très probable, même si celui-ci peut être généalogiquement difficile à prouver »*, reconnaît encore Jonathan Grandaubert.

Quoi qu'il en soit, valider d'éventuelles correspondances génétiques nécessite une enquête généalogique classique. Ou l'inverse : une enquête généalogique sur état civil peut être confirmée ou infirmée par l'ADN. Ce dernier cas fait d'ailleurs partie des arguments invoqués contre la libéralisation des tests car ceux-ci sont susceptibles de révéler des secrets de famille. De fait, notre ADN ne nous appartenant jamais entièrement, le mettre en ligne engage — sans leur consentement — toutes les personnes avec qui nous le partageons. Ainsi, il arrive qu'une personne se découvre un père biologique… différent de celui qu'elle prenait pour tel. En 2013, des chercheurs belges ont établi, en étudiant sur cinq siècles des marqueurs répartis sur le chromosome Y transmis de père en fils, que le taux de fausses paternités serait en moyenne de 0,9 %. Un chiffre significatif, très éloigné cependant des 15 à 30 % souvent évoqués dans les débats. Reste que le risque, qui inclut d'emblée celui de lever le droit à l'anonymat des donneurs de sperme, est réel. *« La*

ANTHROPOLOGIE

Il y a du Neandertal en nous

En moyenne, 2 % du matériel génétique d'*Homo sapiens* est hérité… de Neandertal ! Alors que les deux espèces ont longtemps été considérées comme simples cousines issues d'un ancêtre commun, cette découverte stupéfiante a montré en 2010 qu'il y avait bien eu hybridation. Ce croisement génétique ne semblait concerner que les populations en dehors d'Afrique. En effet, avant de disparaître il y a 40 000 ans, Neandertal vivait en Eurasie et était présumé n'être jamais allé sur ce continent africain. Patatras ! De nouvelles analyses publiées en février ont montré que les néandertaliens partageaient 0,3 % du génome africain moderne. De quoi redessiner les routes des migrations originelles !

E. HEYER

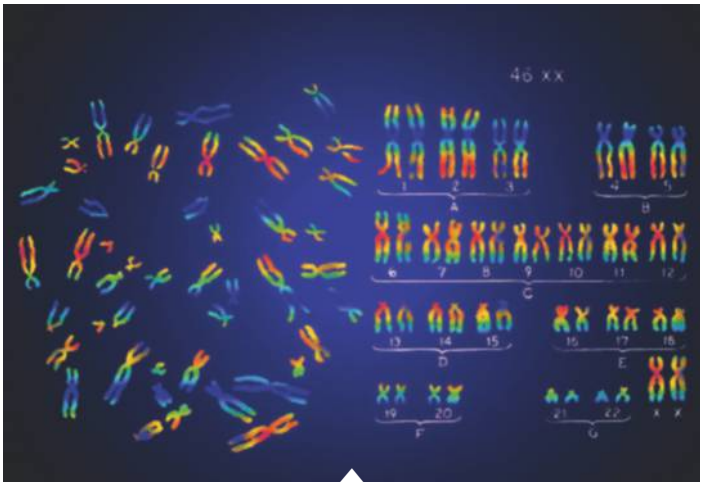
ÉVELYNE HEYER
PROFESSEURE D'ANTHROPOLOGIE GÉNÉTIQUE AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, À PARIS

« La fiabilité des tests dépend des populations de référence »

Quel crédit accorder aux résultats fournis par les tests génétiques sur les origines ethniques et géographiques ?
À l'échelle des continents, ils sont à peu près exacts. Vous pouvez ainsi savoir si vous êtes 20 % d'origine africaine, 30 % asiatique, 40 % européenne, etc. Les choses se compliquent dès que l'on veut déterminer des régions plus précises, car la fiabilité dépend des populations de référence auxquelles sont comparées votre ADN. Pour comprendre, il faut envisager l'ADN comme une mosaïque dans laquelle certains petits morceaux portent la trace génétique des migrations humaines du passé. Les entreprises qui proposent des tests pour le grand public s'attachent à comparer chaque petit bout à des populations de références. La technique est fiable, à condition de bien déterminer ces populations de référence.

Le choix de ces populations de référence explique-t-il que l'on obtient des résultats différents d'une entreprise à l'autre ?
Tout à fait ! Prenons un exemple. Si vous avez des ancêtres d'origine sibérienne et réalisez ce test auprès de l'entreprise américaine 23andMe, les résultats vous donneront une ascendance… amérindienne. Ce qui est faux, mais s'explique par le fait que cette entreprise n'a quasiment aucun échantillon d'individus sibériens dans sa base de données. En revanche, elle dispose d'échantillons d'Amérindiens qui leur sont proches génétiquement, parce qu'ils ont migré de Sibérie il y a 15 000 à 20 000 ans.

Comment ces sociétés constituent-elles leur base de données ?
Pour se lancer, elles ont utilisé les bases de données publiques réalisées par les chercheurs en génétique, comme celles que nous avons constituées au Muséum à des fins de recherche et qui échantillonnent de façon fiable des populations à travers le monde. Or, elles ont fait évoluer ces données de référence en y agrégeant — dans des conditions que nous ignorons — les nouvelles données récoltées chez leurs clients. Il est donc impossible de garantir la validité des informations et des outils avec lesquelles elles travaillent. ■ **Propos recueillis par H. J.**



BSIP

Les chromosomes sont divisés en segments ensuite comparés à une base de données. Les origines ethniques ou géographiques peuvent ainsi être identifiées à partir des variations spécifiques d'une population.

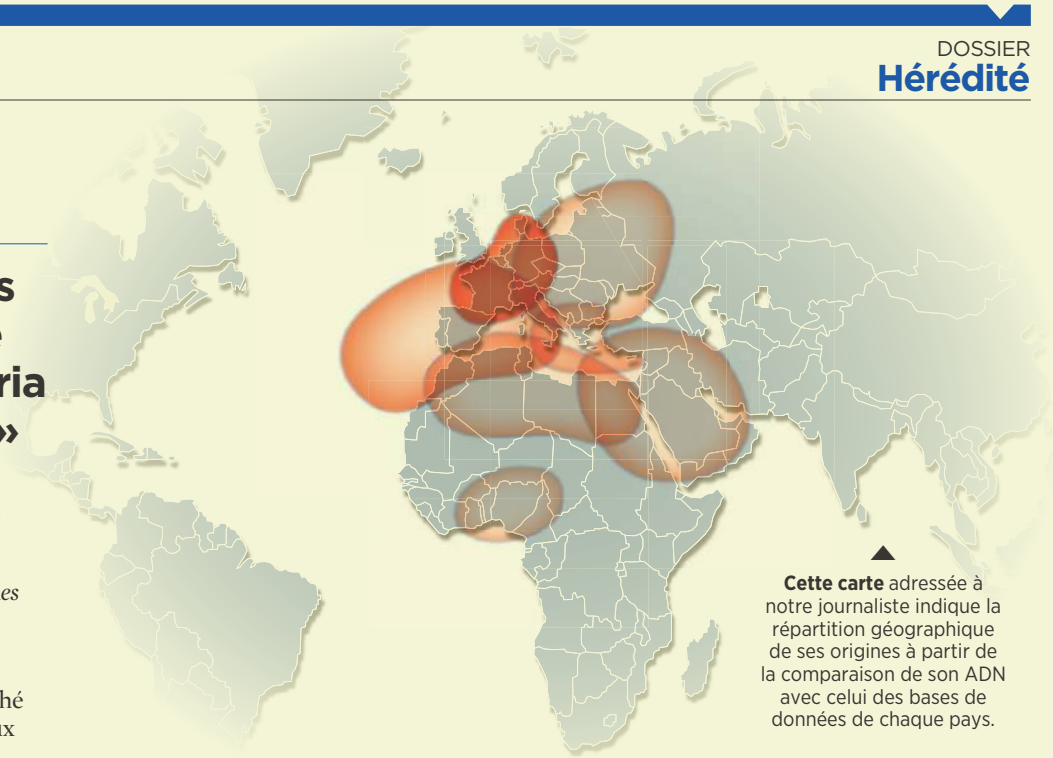
dénonciation des effets pathogènes des secrets de famille ne doit pas être confondue avec […] une apologie de la transparence. Car le droit au secret est important lui aussi », précise ainsi le psychiatre Serge Tisseron.
Avant son application récente comme outil d'aide à la recherche généalogique, les tests génétiques à destination des particuliers ont d'abord connu un large succès pour éclairer les origines ethniques ou géographiques des individus (*lire l'encadré p. 35*). « *À l'origine, les Afro-Américains, descendants d'esclaves, ont ainsi voulu savoir d'où ils venaient. Une quête d'héritage tout à fait justifiée, bien loin de l'usage récréatif de ces tests aujourd'hui* », précise Évelyne Heyer, chercheuse CNRS en anthropologie génétique au Muséum national d'histoire naturelle à Paris. Dans ce cadre, la fiabilité des résultats est encore bien plus difficile à établir que pour la généalogie (*voir ci-contre*). Car il ne s'agit plus de comparer deux ADN contemporains, mais de remonter dans le temps pour trouver leur provenance géographique, et donc ethnique. En effet, au fil d'une histoire commencée en Afrique il y a 300 000 ans, *Homo sapiens* a colonisé l'ensemble de la planète tout en acquérant des mutations génétiques, lesquelles se sont fixées au gré de la sédentarisation de différentes populations.

Une aide à l'anthropologie génétique

Aujourd'hui, des outils de calcul statistique permettent cependant de retracer la saga de ces grandes migrations et viennent ainsi en aide à l'anthropologie génétique. En juillet, des chercheurs de l'université de Leicester (Royaume-Uni) ont ainsi pu suivre une partie de l'histoire de la traite transatlantique à partir de l'ADN de 50 000 personnes récolté des deux côtés de l'Atlantique par 23andMe. L'étude parue dans *American Journal of Human Genetics* révèle que les Afro-Américains aux États-Unis sont majoritairement reliés aux populations d'une région correspondant au Nigeria et au Bénin actuels, alors que ces dernières étaient plutôt envoyées en Amérique du Sud selon les registres d'époque. Preuve selon les auteurs que nombre d'entre eux ont ensuite été transférés des Caraïbes vers le sud des États-Unis

TÉMOIGNAGE

« Mes gènes ont voyagé entre le Nigeria et l'Europe »



Cette carte adressée à notre journaliste indique la répartition géographique de ses origines à partir de la comparaison de son ADN avec celui des bases de données de chaque pays.

BRUNO BOURGEOIS

Ce fut le cadeau de Noël original d'un cousin : un kit d'ADN généalogique pour découvrir mes *« origines ethniques »* et trouver *« de nouveaux liens familiaux »*. Vendu par une société israélienne, leader du marché en France, il comprend deux fioles et deux bâtonnets ouatés, une enveloppe à renvoyer et un mode d'emploi. Il suffit de frotter le bâtonnet à l'intérieur de la joue puis de le déposer dans l'éprouvette. Avant d'envoyer le tout aux États-Unis par courrier, avec un code préalablement activé sur le site Internet de l'entreprise. Trois à quatre semaines plus tard, cette dernière m'a envoyé un lien par e-mail. En un clic, une carte du monde s'est animée sous mes yeux, sur laquelle étaient tracés des cercles correspondants, d'après la société, à mes origines. Ainsi, je serais à 52 % originaire d'Europe du Nord et de l'Ouest, 24,9 % ibère et 23 % « autres » dont 1,9 % du Nigeria. Rien de très surprenant, sauf le 1,9 % du Nigeria, que des discussions animées en famille n'expliqueront pas ! À quand remontent ces traces ? Aucune précision n'est apportée. Pas plus que sur leur fiabilité. Mais une chose est sûre : la même analyse ADN réalisée par une autre société ne rendrait pas forcément les mêmes résultats ! Car ces analyses comparent le profil génétique d'un individu à une base de données de populations variable… selon les sociétés *(lire p. 34)*. Chacune compare ensuite le pourcentage de l'ADN partagé avec d'autres personnes ayant fait le même test, ce qui lui permet d'expédier au client des « correspondances ». Ainsi, me concernant, quatre parents proches ont été recensés, ainsi que 2169 éloignés, dont près de 700 aux États-Unis, 400 en France et 100 au Royaume-Uni. Dans la majorité des cas, le taux d'ADN partagé n'excédait pas 0,5 % ! Au final, malgré le risque de voir surgir des parents cachés sans aucun accompagnement psychologique, l'information est limitée. Et *quid* de la protection des données ? La société précise que les données personnelles ne sont *« jamais vendues ni concédées sous licence »* à des tiers sans consentement *« éclairé explicite »* et *« jamais et en aucun cas à une quelconque compagnie d'assurances »*. Ni *« aux forces de l'ordre »*… sauf *« si une ordonnance judiciaire valide ou une citation à comparaître à des fins d'information génétique l'exigeait »*. Gare aux cadeaux empoisonnés ! **Elena Sender**

« vraisemblablement pour maintenir l'économie esclavagiste alors que la traite transatlantique des esclaves était de plus en plus interdite », selon les auteurs. Autre sinistre enseignement, alors que plus de 60 % des esclaves étaient des hommes, la trace génétique des femmes est bien plus présente dans les populations contemporaines. Vraisemblablement en raison du *« viol de femmes africaines asservies par les propriétaires d'esclaves et à d'autres formes d'exploitation sexuelle »* ; mais aussi à une politique de « dilution » ou de « blanchissement racial » qui consistait à encourager la reproduction entre colons et esclaves.

Des chercheurs britanniques ont pu suivre une partie de l'historique de la traite transatlantique à partir de l'ADN de 50 000 personnes récolté des deux côtés de l'Atlantique

Du simple complément à la pratique de la généalogie à l'étude de l'histoire des populations humaines, les tests génétiques offrent un vaste champ d'application. Pas sûr pour autant que cela suffise à les légaliser en France. Dans le cadre des débats parlementaires autour de la révision de la loi de bioéthique, ni l'Assemblée en octobre 2019 ni le Sénat en janvier n'ont encore envisagé de lever cette interdiction. ■ **H. J.**

Tests médicaux : prévenir pour mieux guérir

Si les analyses présentent un intérêt indéniable pour dépister les maladies monogéniques comme Huntington ou la mucoviscidose, elles sont défaillantes lorsque des interactions entre gènes et facteurs environnementaux sont en jeu, comme dans le diabète de type II.

Appelons-la Claire*. C'est sa cinquième visite à la consultation de génétique de ce grand hôpital en région. La raison ? Depuis plusieurs générations, sévit parmi les membres de sa famille une terrible affection neurodégénérative, la maladie de Huntington. Sa mère, son frère et deux de ses cousins ont été emportés par cette pathologie qui se caractérise par une dégénérescence des neurones impliqués dans les fonctions motrices et cognitives. Claire est venue accompagnée de sa plus jeune sœur, non porteuse du gène de la maladie. Les premiers symptômes se sont déclarés six ans plus tôt alors qu'elle s'apprêtait à fêter son 45e anniversaire. Aujourd'hui, son état est préoccupant : Claire a désormais beaucoup de mal à se déplacer et son bras gauche pend, inerte, le long du corps. Sa voix n'est plus qu'un murmure pratiquement inaudible.

Ces consultations génétiques, très éprouvantes sur le plan physique et physiologique, sont désormais nombreuses en France. À l'origine, il y a toujours la connaissance d'une pathologie qui frappe lourdement une famille : cancer du sein, maladie neurodégénérative ou cardio-vasculaire, etc. Aujourd'hui, plus de 1500 maladies héréditaires peuvent ainsi faire l'objet en France d'un test diagnostic. Celui ou celle qui se sait à risque de développer l'une de ses pathologies peut ainsi demander à son médecin traitant de lui prescrire une consultation chez un généticien afin qu'une analyse soit faite et le diagnostic posé. Deux autres raisons peuvent cependant motiver la demande d'un test génétique : le patient est déjà atteint, mais la cause est inconnue ; le patient a un projet d'enfant et veut connaître les risques de transmettre sa maladie génétique à sa progéniture.

Quoi qu'il en soit, tous ces motifs sont soumis à un encadrement législatif très strict et ne se résument pas à un simple examen biologique. *« Pour la majeure partie de ces maladies, connaître son statut génétique ne permet pas d'en tirer des enseignements précis sur la pathologie*, explique le professeur François Eisinger, oncogénéticien à l'institut Paoli-Calmettes à Marseille. *Lors des consultations, j'utilise souvent la métaphore automobile : un défaut dans la voiture ne rend pas forcément le véhicule dangereux. Songez que chacun d'entre nous possède environ 23 000 gènes parmi lesquels, en moyenne, 230 fonctionnent mal ! »*

CULTURA CREATIVE / AFP

L'examen biologique, hors consultation génétique, ne peut à lui seul renseigner précisément sur une maladie.

Tabac, obésité ou âge sont des facteurs plus prédictifs

Ainsi, les tests génétiques présentent un intérêt indéniable pour dépister les maladies dites monogéniques — sous l'influence d'un seul gène — comme Huntington ou la mucoviscidose *(voir l'infographie ci-contre)*. En revanche, il en va tout autrement pour les maladies dues à des interactions complexes entre gènes et facteurs environnementaux : diabète de type II, la plupart des cancers, etc. Celles-ci se déclenchent, ou non, en fonction du parcours de vie. *« Dire, par exemple, que l'on fait partie d'une "famille à cancers", n'a pas grand sens. Pour reprendre la métaphore, l'important c'est le nombre de kilomètres que la voiture est capable de parcourir malgré ce défaut. Au-delà du profil de risque héréditaire, ce qui compte donc, ce sont les gènes hérités de la vie qu'on*

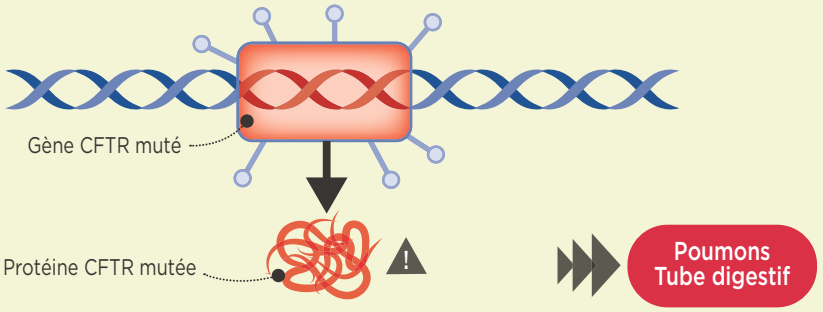
COMPARAISON

Toutes les maladies génétiques ne se ressemblent pas

Mucoviscidose (enfant)

Maladie monogénique

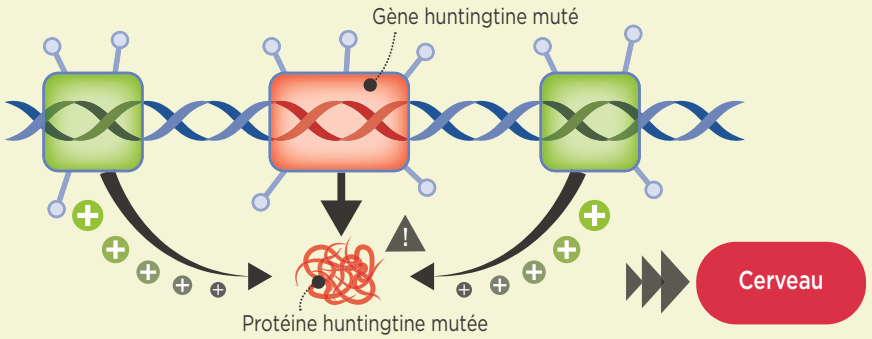
■ Elle débute à la naissance. Elle est due à des mutations sur le gène CFTR qui entraînent une malformation de la protéine CFTR. Elle touche un nouveau-né sur 3000 et apparaît lorsque les deux parents sont porteurs du gène défaillant. Plusieurs tests médicaux de dépistage et de diagnostic existent.



Huntington (jeune adulte)

Maladie monogénique
avec effets modérateurs

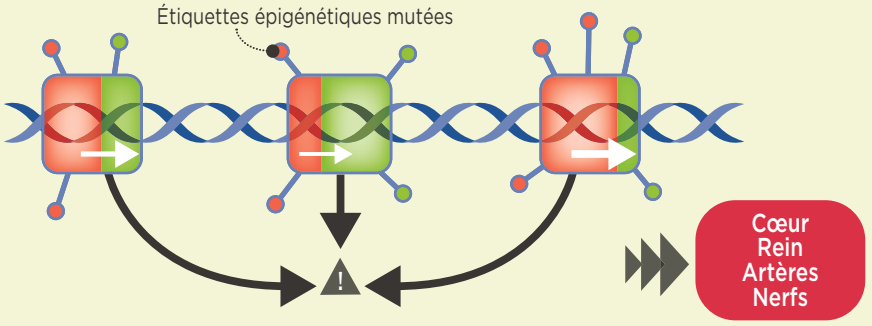
■ La pathologie se développe en moyenne à partir de 30 ans quand commencent à s'estomper les effets modérateurs des gènes environnants sur la protéine huntingtine. Elle atteint une personne sur 20 000. Plusieurs tests existent.



Diabète type II (adulte)

Maladie polygénique

■ L'affection débute après 40 ans en fonction de facteurs environnementaux (alimentation, sédentarité, tabac) qui modifient les étiquettes épigénétiques à la surface de divers gènes. Aucun des tests ne permet de prédire précisément la survenue de la maladie.



BRUNO BOURGEOIS

a menée. La consommation de tabac, l'obésité ou encore l'âge sont des facteurs beaucoup plus prédictifs que des gènes de prédisposition », poursuit le spécialiste. D'autant qu'en matière de tests, *« faire plus n'est pas forcément faire mieux »*. François Eisinger en veut pour preuve que les tests pratiqués aux États-Unis pour diagnostiquer le cancer du sein incluent la recherche de davantage de gènes que ceux pratiqués en France. Or, hormis les gènes de prédisposition les plus certains et étudiés (BRCA1, BRCA2, PALB2), la contribution des autres est bien moindre, et leur synergie en grande partie inconnues. *« Ce qui rend le diagnostic incertain et augmente d'autant le stress des personnes à qui l'annonce est faite »*, déplore-t-il.

Pour ceux qui ne peuvent pas bénéficier d'une consultation, plusieurs entreprises américaines proposent sur Internet des autotests de prédisposition à telle ou telle maladie, comme le diabète de type II. En France, ces tests sont interdits pour la bonne raison qu'ils sont tout... sauf fiables ! Des généticiens de l'université de San Diego (États-Unis), dont le célèbre Craig Venter qui a mis au point la technique du séquençage rapide, se sont livrés à une expérience éclairante voilà maintenant une décennie : comparer les résultats des tests four-

DR CATHERINE NOGUÈS

CHEFFE DE SERVICE D'ONCOGÉNÉTIQUE CLINIQUE À L'INSTITUT PAOLI-CALMETTES, CENTRE RÉGIONAL DE LUTTE CONTRE LE CANCER, À MARSEILLE

« Une marchandisation de la chose biologique complètement folle »

« Ce qui est troublant avec les tests génétiques proposés aux consommateurs, c'est ce mélange du « *récréatif* » — la recherche des origines ethniques ou généalogiques — et de l'accès à des informations d'une toute autre nature... et surtout peu fiables : le risque de maladies neurodégénératives (Parkinson, Alzheimer, etc.) ou de cancer par exemple. On n'est pas du tout sur le même plan ! Par ailleurs, en tant que médecin, je trouve cette marchandisation de la chose biologique complètement folle. Certes, cela n'est pas très onéreux (100 à 200 €) mais là n'est pas l'essentiel pour ces entreprises : elles se rémunèrent surtout avec les données de leurs clients, qu'elles peuvent vendre à prix d'or à l'industrie pharmaceutique. Sans compter qu'il y a un risque réel de vol de données. Or l'ADN est non seulement ce que nous avons de plus intime, mais aussi de plus identifiant.
Surtout, ces tests ouvrent la voix à une surinterprétation du variant biologique qui, hors contexte individuel, familial ou médical, ne veut pas dire grand-chose. De sorte que les personnes qui y ont recours se retrouvent avec des résultats parfois inquiétants qu'elles ne peuvent pas interpréter. Résultat : soit elles restent seules à ruminer leur angoisse ; soit, comme cela arrive désormais, elles se tournent vers nous, médecins spécialistes en génétique.
Ce qui implique un temps d'expertise et des coûts qui pèsent *in fine* sur le système de santé. Car pour vérifier que les variations annoncées ne sont pas surinterprétées, il faut refaire l'analyse et déterminer si cela a du sens dans un

REMY CORTIN POUR SCIENCES & AVENIR

DR GUILLAUME VOGT

DIRECTEUR DU LABORATOIRE NEGLECTED HUMAN GENETICS (NHG) AU CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE EN GÉNOMIQUE HUMAINE (CNRGH-CEA), À ÉVRY (ESSONNE)

« Pour une génétique 2.0 à la française »

« Les tests génétiques commercialisés par les entreprises privées fonctionnent très bien en généalogie pour trouver des liens de parenté ou identifier des origines ethniques, à condition que les bases de données soient bien construites. En revanche, d'un point de vue médical, les résultats sont très mauvais. La raison est simple : ces tests ne reposent pas sur du séquençage exhaustif des gènes dits d'intérêt, mais sur un génotypage qui coûte moins de 20 euros à réaliser. L'analyse est réalisée sur des puces à ADN sur lesquelles sont observés seulement 600 000 points du génome sur les trois milliards de bases qu'il contient. La méthode est excellente pour observer les variations les plus fréquentes et est donc très utile lorsque l'on mène un travail de recherche sur de grands effectifs : par exemple, comparer l'ADN de 5000 patients atteints d'un certain type de cancer à 5000 personnes en bonne santé.

« Ces entreprises se rémunèrent avec les informations de leurs clients qu'elles peuvent vendre à l'industrie »

Catherine Noguès

VALENTINE VERMEIL POUR SCIENCES & AVENIR

contexte médical. Et les faux signaux ne sont pas rares ! Par exemple, une variation du gène BRCA1 connu pour prédisposer au cancer du sein n'a de sens que si elle correspond à une histoire familiale de cancers du sein. Mais il y aura d'autres familles où, avec le même variant, le risque sera différent. Ces variations biologiques n'ont de sens que si elles sont corrélées à une histoire familiale. J'aimerais parfois que ce soit binaire, mais c'est toujours plus compliqué que ça. » ■ **Recueilli par H. J.**

Néanmoins, les erreurs sur ces puces sont fréquentes (1/500 à 1/1000). Cela ne change pas significativement les résultats sur ces grands effectifs, mais si le test est individualisé et que l'erreur « tombe » sur vous, cela peut être grave. Cela étant dit, il faut empêcher la fuite des données françaises à l'étranger [où ces tests sont autorisés] et donc faire évoluer les conditions d'étude du génome. C'est le principe d'une « génétique 2.0 à la française » que je défends et où nous pourrions proposer à chacun de rendre son ADN disponible à des fins de recherche en échange de l'étude de son génome, le tout assorti de questionnaires multithématiques*. Mais la Cnil défend sa doctrine qui est d'imposer un thème unique par projet de recherche. Pire, si dans le cadre d'un projet précis, les chercheurs découvrent un risque important pour la personne mais que celui-ci ne concerne pas directement la recherche en cours (découverte incidentale), la Cnil s'oppose à l'éventualité de l'en informer... Si ce refus d'interpréter intelligemment la loi perdure, la France perdra définitivement la capacité à étudier ses propres données génétiques, laissant ainsi les sociétés étrangères prendre le monopole. » ■ **Recueilli par H. J.**

* sciav.fr/884Vogt

« Il faut empêcher la fuite des données françaises à l'étranger et donc faire évoluer les conditions d'étude du génome » **Guillaume Vogt**

nis à cinq personnes par deux de ces entreprises (23andMe et Navigenics). Pour plus de la moitié des maladies, les conclusions se sont révélées n'être pas harmonisées, les facteurs de risque variant par exemple du simple au triple quand ils ne se contredisaient pas quant à la survenue d'une pathologie ! D'où l'importance d'une information donnée dans le cadre d'une véritable consultation génétique. Ce qui permet au spécialiste d'expliquer au patient ces arbitraires génétiques et de prendre en compte de nombreux aspects de la vie du patient. *« En consultation, je vois beaucoup de personnes susceptibles de développer un cancer*, poursuit François Eisinger. *La génétique n'est qu'un outil me permettant d'identifier ces personnes, le test étant alors une manière de poser une question à l'organisme et d'obtenir une réponse. Mais tout le travail consiste ensuite à interpréter ce résultat avec le patient en fonction de sa vie.* »

Rechercher les étiquettes épigénétiques anormales

Dans le futur, les tests médicaux seront probablement complétés par la recherche d'étiquettes épigénétiques anormales. Ces dernières se trouvent en effet à la surface des gènes et spécifient leurs statuts (actifs ou inactifs). Elles se modifient au fil du temps, en fonction de nos habitudes de vie, les bonnes comme les mauvaises. Ces tests représenteraient ainsi le graal du diagnostic biologique, car ils permettraient de diagnostiquer, non seulement les maladies génétiques d'une personne, mais renseigneraient en temps réel sur son état de santé ! Encore faudrait-il savoir déchiffrer et interpréter ces changements d'étiquettes... ce qui, à l'heure actuelle, est malheureusement impossible. ■ **H. R.**

* Son nom et des détails de son identité ont été changés.

FUSION Elle consiste à vouloir fusionner de petits noyaux atomiques pour libérer quatre fois plus d'énergie. Contrairement à la fission nucléaire, exploitée dans les centrales, qui « casse » de gros atomes.

PLASMA Gaz ionisé où les noyaux atomiques sont séparés de leurs électrons et deviennent sensibles aux champs électriques et magnétiques.

ISOTOPES Noyaux atomiques qui ont le même nombre de protons mais dont le nombre de neutrons est différent. Leurs masses varient donc légèrement.

Une étape clé pour l'énergie de fusion

Les opérations d'assemblage du réacteur d'Iter, le projet international hors normes pour maîtriser la fusion de l'hydrogène, ont débuté dans les Bouches-du-Rhône et vont durer quatre ans. Avant qu'un premier plasma puisse y être produit.

Par Franck Daninos @fdaninos

Avec son hangar de 60 mètres de haut, ses gigantesques ponts roulants pouvant déplacer des objets de 1650 tonnes et les 40 000 mètres cubes de béton sur lequel il repose, le chantier ressemble à un hall d'assemblage pour fusées ou paquebots géants. Situé à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône) en pleine garrigue provençale, il abrite en réalité la plus importante coopération scientifique internationale jamais mise en œuvre : le projet Iter (International Thermonuclear Experimental Reactor) qui réunit l'Europe, la Chine, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis, soit 35 pays... pour un budget avoisinant les 20 milliards d'euros. *« Fruit de décennies de recherches, le projet vise à reproduire les réactions de fusion de l'hydrogène qui se déroulent au cœur du Soleil et des étoiles,* explique Bernard Bigot, directeur général d'Iter depuis 2015. *Et démontrer que ces réactions peuvent être exploitées pour produire une énergie sûre, virtuellement inépuisable et respectueuse de l'environnement. Un gramme d'hydrogène libère autant d'énergie que 8 tonnes de pétrole ! »* Or trente-cinq ans après les premières discussions internationales, les opérations de génie civil sont enfin terminées et le chantier vient d'entrer dans la phase d'assemblage avec la pose des plus imposants éléments du réacteur. Les premiers d'une longue série puisque ce sont 4 millions de composants électromécaniques — soit dix fois plus que pour un gros avion de ligne — qui devront être combinés d'ici à 2024.

Positionnée fin mai, la plus grosse pièce est un cylindre en acier inoxydable qui pèse 1250 tonnes et mesure 30 mètres de diamètre.

CONTEXTE

La fusion nucléaire, si elle peut être maîtrisée, présente plusieurs avantages. Elle produit quatre fois plus d'énergie que les réactions de fission, et contrairement à ces dernières aucun déchet radioactif de haute activité à vie longue. Les combustibles sont par ailleurs quasiment inépuisables, et les réactions de fusion — à l'inverse de la fission — ne présentent aucun risque d'emballement car elles cessent à la moindre perturbation.

« C'est l'un des quatre éléments d'une immense structure, appelée cryostat, qui maintiendra le futur réacteur dans un environnement sous vide extrêmement froid », explique Xavier Bravo, responsable de la construction de la machine. En septembre, le deuxième élément de cette gigantesque « bouteille isotherme » l'a rejoint, tandis que d'autres composants clés — comme des aimants de 340 tonnes chacun — continuent à être acheminés d'Italie ou du Japon en transitant par le port de Fos-sur-Mer, tout près de Marseille. *« Nous avons aujourd'hui une confiance très fortement accrue dans notre capacité à construire la plus puissante des installations de fusion et démontrer la faisabilité scientifique et technique de l'énergie des étoiles,* avance Bernard Bigot. *Selon nos prévisions, elle pourrait alimenter le réseau électrique mondial vers le milieu du XXIe siècle, jusqu'à 40 ou 50 % du mix énergétique en complément des énergies renouvelables. »*

Iter a connu en effet des débuts difficiles. Lancé officiellement en 2006 à Paris, il devait coûter 5 milliards d'euros et débuter sa

La bobine toroïdale n° 13 en provenance du Japon, pays participant à Iter, est déchargée au port de Fos-sur-Mer en juin.

Le cylindre inférieur du cryostat, d'un poids de 490 tonnes, est transféré au hall d'assemblage le 22 août.

PHOTOS : ITER ORGANIZATION

Le site d'Iter à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône) s'étend sur 180 hectares (ici les travaux de construction en mai dernier).

phase d'exploitation en 2016. Le budget aura donc quasiment quadruplé, et le premier « plasma » — milieu où les noyaux d'hydrogène seront dissociés de leurs électrons et où les réactions de fusion nucléaire pourront se faire *(lire lexique p. 40)* — ne devrait pas être produit avant 2025. *« Les enjeux politiques avaient à l'époque pris le pas sur l'analyse technique, et les difficultés de la fabrication industrielle étaient largement sous-estimées »*, juge Bernard Bigot, ancien haut-commissaire à l'énergie atomique et administrateur général du CEA dont la nomination à la tête d'Iter, en 2015, a permis de relancer ce programme alors au bord du gouffre. *« Bernard Bigot, grâce à son profil de savant-ingénieur, a réussi à incarner le projet et donner une nouvelle impulsion. Il n'y a aujourd'hui guère d'ambiguïté sur le fait qu'Iter tiendra ses promesses »*, avance Jean-Marcel Rax, physicien à l'université Paris-Saclay et médaille d'argent du CNRS. *« L'approche de la phase d'exploitation est très stimulante et mobilise notre communauté »*, relève pour sa part Pascale Hennequin, qui dirige une équipe de recherche sur la fusion au Laboratoire de physique des plasmas de l'École Polytechnique.

Face à un calendrier serré, l'épidémie de Covid-19 a constitué une nouvelle gageure. *« Un arrêt total des opérations, vu l'ampleur des travaux et les centaines de fournisseurs impliqués, aurait entraîné d'importants surcoûts et de nouveaux retards. Nous avons donc maintenu la parfaite continuité du chantier pendant la période de confinement »*, se félicite Bernard Bigot. Parmi les 4000 personnes présentes à « Iterville » — sorte d'enclave internationale qui s'étend sur 180 hectares, possède ses propres restaurants et réseaux de transport public —, 1400 employés de bureau ont été placés en télétravail tandis que le nombre d'ingénieurs et d'ouvriers spécialisés a été temporairement réduit de 2500 à 700. *« Nous avons pu ainsi débuter, tout au long du printemps, les premières opérations d'assemblage, en ne déplorant à ce jour aucune contamination »*, poursuit l'expert. Des opérations qui se poursuivront ainsi pendant près de quatre ans, moment où ce chantier de la démesure devrait être achevé. Dénommé tokamak (acronyme russe de « chambre toroïdale avec bobines magnétiques »), le réacteur confinera grâce à de puissants champs magnétiques un plasma chauffé à 150 millions de degrés. *« Il pèsera lui-même 23 000 tonnes, soit 3,5 fois le poids de la tour Eiffel, et contiendra environ 900 mètres cubes de plasma »*, précise Xavier Bravo.

23 000 tonnes
Le poids du réacteur, soit 3,5 fois celui de la tour Eiffel.

2025
La date à laquelle devrait être produit un premier plasma de démonstration.

Apprendre à domestiquer la machine

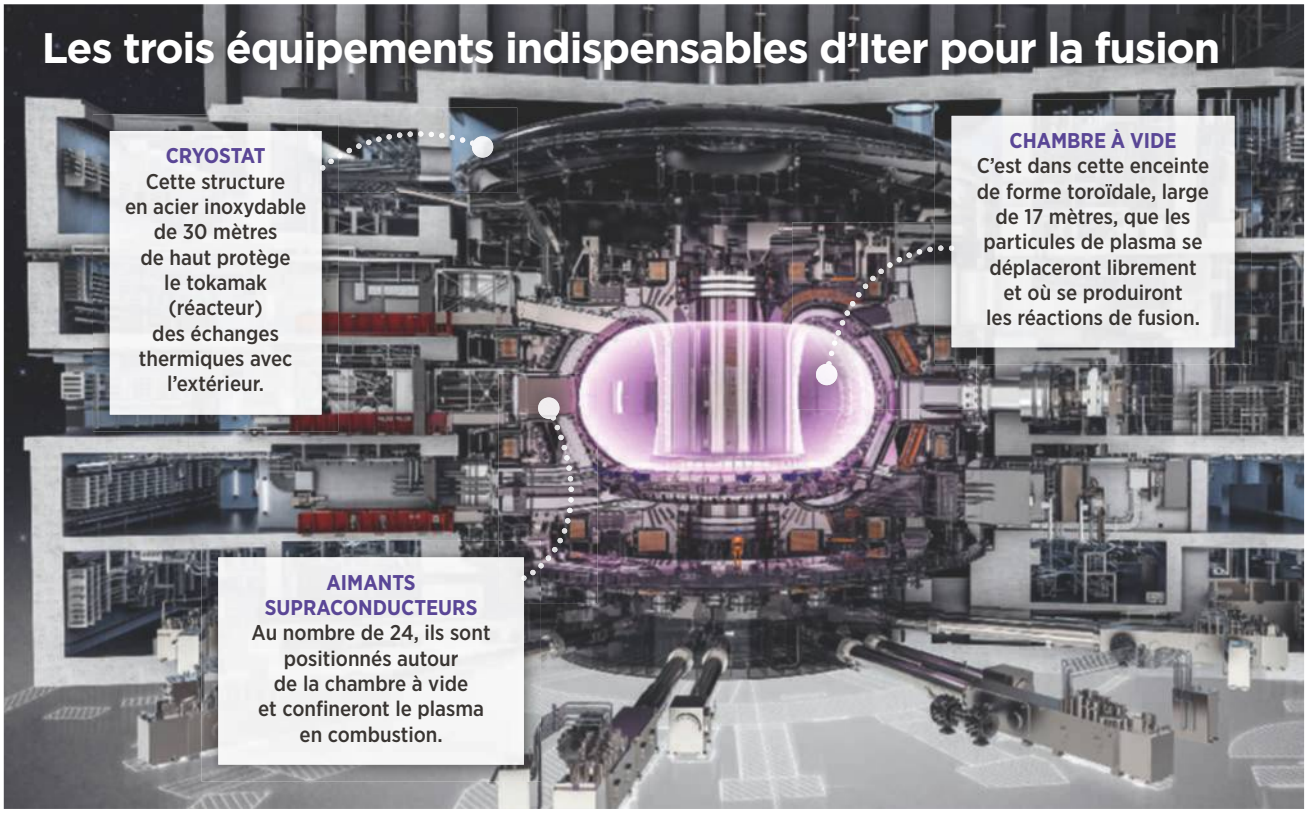
La machine sera ainsi dix fois plus volumineuse que le plus gros tokamak actuel, le Joint European Torus (JET) situé près d'Oxford (Royaume-Uni). En 1997, il avait généré 16 millions de watts de puissance en fusionnant des noyaux de deutérium et de tritium, deux isotopes de l'hydrogène, pendant quelques dizaines de secondes. Un record ! Pour chauffer le plasma et que les noyaux atomiques fusionnent, 23 millions de watts ont dû toutefois être injectés dans le réacteur, le bilan restant de fait largement négatif. *« Dans un plasma en fusion, les pertes d'énergie sont proportionnelles à la surface et les gains au volume*, explique Jean-Marcel Rax. *Il est donc indispensable que le tokamak dépasse une certaine taille critique pour que les réactions de fusion libèrent suffi-*

INDUSTRIE

Le secteur privé en ordre de bataille

Alors que les recherches sur la fusion thermonucléaire, depuis les années 1950, avaient toujours été menées à l'échelle des États ou de regroupements de nations, une trentaine de start-up — principalement américaines, britanniques, canadiennes — ont émergé depuis une décennie, levant des dizaines de millions de dollars auprès des GAFA (géants du numérique) notamment. *« Elles se sont montrées d'emblée très critiques à l'égard d'Iter, arguant que le projet était trop lourd, long et coûteux et annonçant, pour certaines d'entre elles, qu'elles maîtriseraient l'énergie de fusion en cinq ans en construisant de petits réacteurs tenant à l'arrière d'un camion »*, explique Alain Bécoulet, qui dirige le pôle d'ingénierie d'Iter. *« La plupart de ces annonces étaient fantaisistes*, note Pascale Hennequin, physicienne à l'École polytechnique. *Et je ne crois pas qu'on pourra un jour faire de la fusion dans son garage ! »* Mais alors que ces entreprises se sont souvent illustrées par une communication offensive, elles ont embauché d'excellents physiciens, acquis un savoir-faire, et les relations sont aujourd'hui beaucoup moins conflictuelles avec l'organisation internationale. *« Les recherches menées par Iter produisent quantité de données scientifiques et techniques qui nous seront directement profitables »*, avance ainsi David Kingham, vice-président de Tokamak Energy, entreprise britannique spécialisée dans la fabrication d'aimants très performants qui permettront de réduire, à terme, la taille des réacteurs. Ces initiatives sont désormais perçues avec intérêt. *« Le signe que l'énergie de fusion devient une perspective réaliste pour les industriels »*, estime Pascale Hennequin.

Les trois équipements indispensables d'Iter pour la fusion


CRYOSTAT
Cette structure en acier inoxydable de 30 mètres de haut protège le tokamak (réacteur) des échanges thermiques avec l'extérieur.
CHAMBRE À VIDE
C'est dans cette enceinte de forme toroïdale, large de 17 mètres, que les particules de plasma se déplaceront librement et où se produiront les réactions de fusion.
AIMANTS SUPRACONDUCTEURS
Au nombre de 24, ils sont positionnés autour de la chambre à vide et confineront le plasma en combustion.

ITER ORGANIZATION

samment de particules énergétiques, des neutrons notamment, et s'entretiennent d'elles-mêmes. » Grâce à ses mensurations inouïes, Iter devrait ainsi générer 500 millions de watts de puissance pour 50 millions de watts injectés, pendant quelques dizaines de minutes jusqu'à une heure environ.

Le dispositif permettra de tester différentes configurations magnétiques, d'observer le comportement du plasma à une telle échelle et valider les prédictions théoriques. « *Les phénomènes que nous étudierons, notamment les turbulences au sein du plasma auto-entretenu, sont extrêmement complexes,* souligne Alain Bécoulet, chef du pôle d'ingénierie d'Iter. *Ils se traduisent par des équations qui sont à la limite de ce qu'on sait résoudre numériquement, d'où l'importance cruciale de tests expérimentaux.* » L'extraction de l'énergie, indispensable pour faire de la fusion une future source d'électricité, constituera un autre objectif prioritaire. « *Tout l'enjeu consiste à prévoir et bien répartir les flux d'énergie,* indique Pascale Hennequin. *Il faut les rendre les plus homogènes possibles et éviter les phénomènes dits rapides qui pourraient endommager les structures.* » Même si le premier plasma — dit de démonstration — devrait être produit en décembre 2025, les principales expérimentations ne seront toutefois réalisées qu'entre 2030 et 2035. « *Il nous faudra, entre-temps, apprendre à domestiquer la machine, intégrer des systèmes de chauffage additionnels et monter peu à peu en puissance* », détaille Alain Bécoulet. Entre 2040 et 2045, si tout se passe comme prévu, des prototypes préindustriels s'appuyant sur les résultats d'Iter prendront le relais. Et ce n'est pas avant 2055, voire 2060, que l'énergie de fusion pourrait alimenter le réseau électrique mondial. « *Toutes ces étapes et le graal que nous recherchons prendront donc beaucoup de temps, ce qui n'est pas toujours facile pour les décideurs politiques,* reconnaît Alain Bécoulet. *Mais nous sommes beaucoup à penser que de tels efforts en valent la peine et permettront à l'humanité de répondre à ses futurs besoins en énergie.* » ■

ITER ORGANIZATION

« Nous avons aujourd'hui une confiance très fortement accrue dans notre capacité à construire la plus puissante des installations »

Bernard Bigot, directeur général d'Iter

Osiris-Rex s'apprête à « butiner » l'astéroïde Bénou

La sonde de la Nasa devrait prélever jusqu'à 2 kg de petits cailloux et de poussières pour les rapporter en 2023 sur Terre. Une récolte record avec sans doute, à la clé, des informations capitales sur la formation du système solaire.

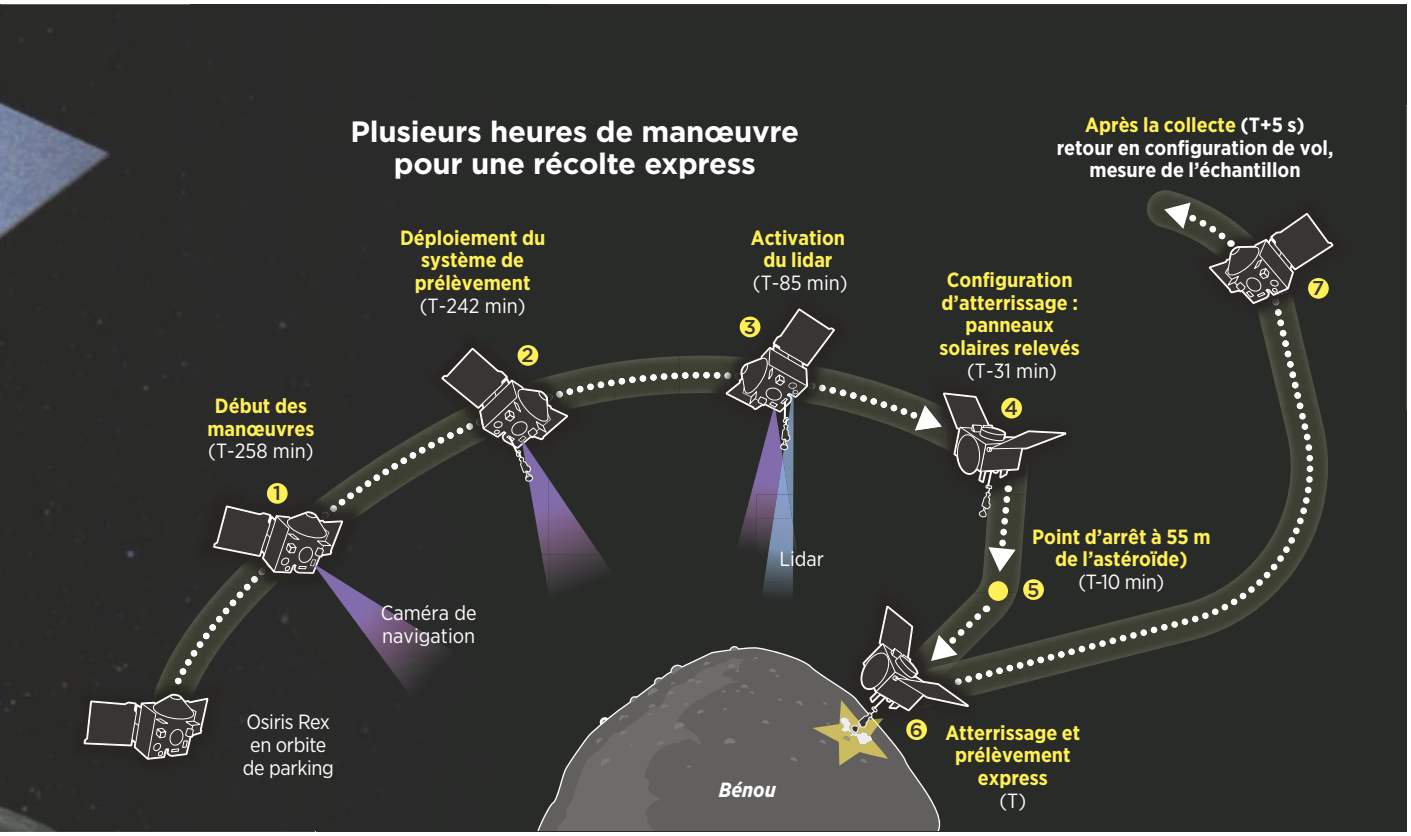
Après l'avoir examinée dans ses moindres recoins, pendant près de deux ans, la sonde spatiale Osiris-Rex (Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security Regolith Explorer) s'apprête à fondre sur sa cible : un astéroïde gravitant à 260 millions de kilomètres de la Terre, d'environ 500 mètres de large, dénommé Bénou (*Bennu*, en anglais) du nom de l'oiseau représentant l'âme dans la mythologie égyptienne. Le 20 octobre, le vaisseau de la Nasa quittera en effet son orbite de parking pour toucher la surface de cet astéroïde de type C *(lire l'encadré p. 46)*. Très sombre, celui-ci est supposé riche en carbone, en composés organiques et minéraux hydratés et s'est formé en même temps que le système solaire il y a 4,5 milliards d'années. La sonde prélèvera alors entre 60 g et 2 kg de petits cailloux et poussières… pour les rapporter en 2023 sur Terre. *« Aucune mission n'a jamais collecté autant de matériaux à la surface d'un astéroïde*, s'enthousiasme Patrick Michel, astrophysicien à l'observatoire de la Côte-d'Azur et membre de l'équipe scientifique d'Osiris-Rex. *Après analyse, ils dévoileront des informations capitales sur la formation du système solaire et les ingrédients qui, sur Terre, auraient permis l'émergence de la vie.* »

Partie en 2016 de cap Canaveral (États-Unis), la sonde d'un peu plus de deux tonnes et six mètres d'envergure orbite autour de Bénou depuis décembre 2018. *« C'est la première fois qu'un vaisseau gravite autour d'un corps d'une aussi petite taille*, poursuit Patrick Michel. *Et c'est aussi la première fois qu'un engin s'insère dans une orbite si basse, à seulement 1,7 km de la surface de l'astre.* » Pour la Nasa, il s'agit aussi de la toute première tentative de récupérer des échantillons d'astéroïde… Une

PATRICK MICHEL

« C'est la première fois qu'un vaisseau gravite autour d'un corps d'une aussi petite taille »

Patrick Michel, astrophysicien à l'observatoire de la Côte d'Azur et membre de l'équipe scientifique d'Osiris-Rex


Plusieurs heures de manœuvre pour une récolte express
Début des manœuvres (T-258 min)
Déploiement du système de prélèvement (T-242 min)
Activation du lidar (T-85 min)
Configuration d'atterrissage : panneaux solaires relevés (T-31 min)
Point d'arrêt à 55 m de l'astéroïde) (T-10 min)
Atterrissage et prélèvement express (T)
Après la collecte (T+5 s) retour en configuration de vol, mesure de l'échantillon
Caméra de navigation
Lidar
Osiris Rex en orbite de parking
Bénou
NASA / GSFC - INFOGRAPHIE BRUNO BOURGEOIS

prouesse que l'Agence spatiale japonaise (Jaxa) a déjà réussie par deux fois. En 2010, la sonde Hayabusa chapardait quelques millionièmes de gramme de poussières d'Itokawa, un astéroïde de type S, silicaté, beaucoup moins primitif que Bénou. Puis en 2019, grâce à son successeur Hayabusa-2, entre 100 milligrammes et un gramme de matériaux à la surface de l'astéroïde Ryugu, de type C, qui seront récupérés sur Terre en décembre. « *Nous attendons avec impatience les échantillons de Hayabusa-2, les premiers d'un astéroïde carboné, qui a gardé la mémoire de la composition initiale du système solaire* », signale Guy Libourel, cosmochimiste à l'observatoire de la Côte-d'Azur. Mais la quantité de matière qu'Osiris-Rex doit bientôt recueillir sur Bénou — de 500 à 10 000 fois plus importante — ouvre des perspectives uniques, s'enthousiasme le chercheur : « *Elle permettra de déployer toutes les techniques d'analyse, destructives et non destructives, pour déterminer la composition de l'astéroïde mais aussi sa porosité et sa friabilité ainsi que la structure tridimensionnelle des molécules organiques, essentielle pour questionner l'origine du vivant.* »

Les succès des missions japonaises ont mis toutefois la « pression »

NASA/GODDARD/UNIVERSITY OF ARIZONA

D'un diamètre d'environ 500 mètres, Bénou gravite à quelque 260 millions de kilomètres de la Terre. En orbite basse autour de l'astéroïde, la sonde Osiris-Rex a pu en fournir des images détaillées grâce à sa caméra PolyCam.

sur la Nasa. « *Les Américains n'ont pas le droit à l'erreur*, avance Pierre Vernazza, chercheur au Laboratoire d'astrophysique de Marseille. *Ils ont pris ainsi tout leur temps, et toutes les précautions, pour sécuriser au maximum l'opération de collecte.* » D'autant que la surface de Bénou s'est révélée beaucoup plus rocailleuse que prévu… avec des blocs de pierre hauts comme des immeubles de 5 à 10 étages ! « *La Nasa ne s'attendait pas à découvrir un paysage aussi chaotique* », insiste Pierre Vernazza. Elle a ainsi cartographié, grâce aux spectromètres et caméras haute résolution de la sonde, toute la surface de l'astre pour identifier les endroits à la fois les plus intéressants et les plus dégagés, sur une quinzaine de mètres de large. Pour n'en garder que deux : l'un, qualifié de « nominal », où la collecte aura lieu ; l'autre pour une nouvelle tentative en cas de problème, qui serait effectuée en janvier 2021. Nommé Nightingale (rossignol

COMPOSITION CHIMIQUE

Les secrets des astéroïdes carbonés

À l'instar de Bénou, les astéroïdes de type C — très sombres et supposés riches en carbone et molécules organiques — sont majoritaires dans le système solaire. *« Ils représentent 70 % de la myriade d'objets qu'on observe dans la ceinture principale d'astéroïdes entre les orbites de Mars et de Jupiter »*, explique Pierre Vernazza, chercheur au Laboratoire d'astrophysique de Marseille. Sur les 60 000 météorites répertoriées à ce jour — objets qui se sont écrasés sur notre planète et proviennent principalement de la ceinture d'astéroïdes —, seules 5 % correspondent toutefois aux astéroïdes de type C. Comment expliquer une si faible proportion ? *« Les astéroïdes carbonés, du fait de leur composition chimique, sont beaucoup plus friables et fragiles que les autres,* répond Pierre Vernazza. *La plupart se seraient donc désintégrés en traversant l'atmosphère terrestre. »* On connaît ainsi très mal cette population d'astéroïdes qui, en tombant sur la Terre, auraient... apporté les briques élémentaires du vivant ! Dans la météorite carbonée de Murchison, trouvée en Australie en 1969, on a en effet découvert des minéraux hydratés, des hydrocarbures et des dizaines d'acides aminés (glycine, alanine, etc.). Et même des sucres et des « bases azotées » (purines et pyrimidines) à partir desquelles se construisent les molécules d'ADN et d'ARN ! *« Les prélèvements qui seront réalisés en octobre sur Bénou, quasi inaltéré depuis sa formation il y a 4,5 milliards d'années, seront ainsi extrêmement précieux pour la communauté scientifique,* s'enflamme Guy Libourel, de l'observatoire de la Côte-d'Azur. *Grâce à eux, nous aurons une image beaucoup plus précise et complète de la manière dont ces astres auraient ensemencé la planète bleue. »*

ARGONNE NATIONAL LABORATORY/FIELD MUSEUM LIBRARY/GETTY IMAGES

La météorite de Murchison, trouvée en Australie en 1969, est une chondrite carbonée. Elle contient diverses molécules organiques, briques élémentaires du vivant.

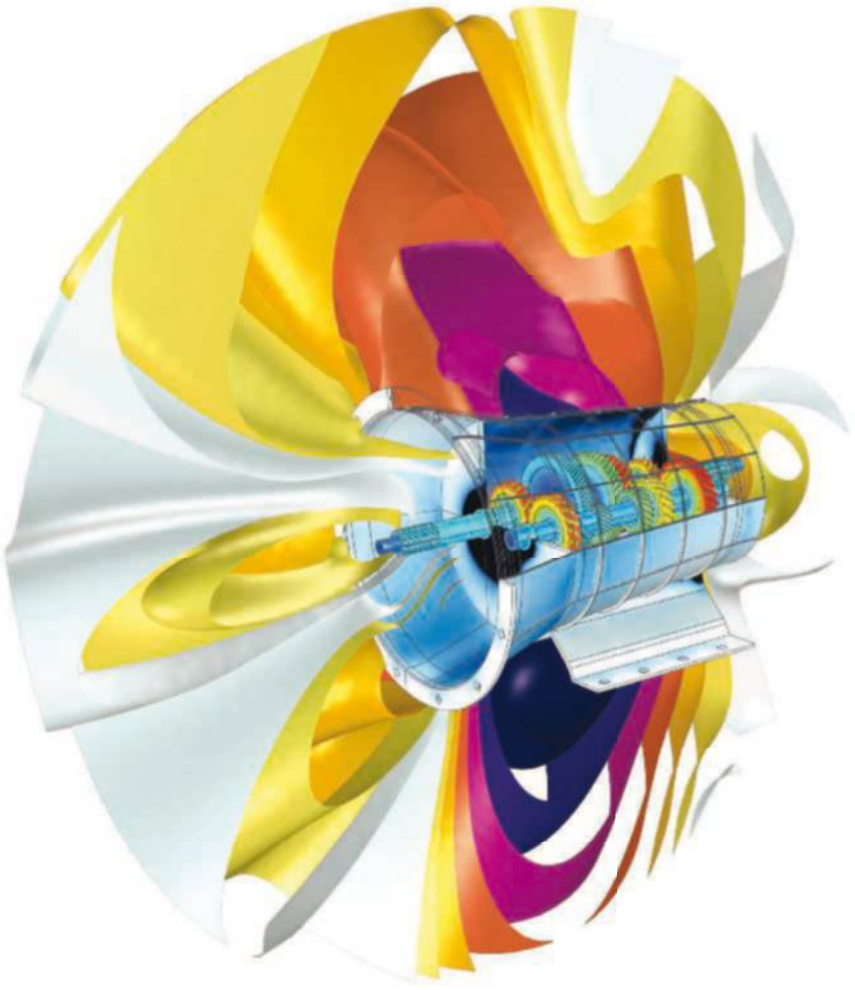
en français), le site nominal est localisé dans un cratère de l'hémisphère nord... juste à côté d'un rocher mesurant tout de même 13 mètres de haut ! En mars, la sonde l'a survolé à 250 mètres d'altitude, révélant avec une résolution de quelques millimètres seulement la nature granulaire du sol, idéale pour une « récolte ». Puis, entre avril et juin, elle est descendue à quelques dizaines de mètres de la surface pour vérifier que le système de navigation autonome était bien opérationnel et que le bras articulé, chargé du prélèvement des échantillons, se déployait sans encombre. *« Prévue initialement à la fin du mois d'août, la collecte a dû être reportée au 20 octobre en raison des contraintes et retard suscités par la pandémie de Covid-19,* confie Patrick Michel. *Tout fonctionne désormais à merveille et la Nasa est très confiante dans ses chances de succès ! »*
Même si la séquence d'atterrissage doit s'étaler sur plusieurs heures *(voir l'infographie p. 45)*, l'opération de collecte sera elle-même très rapide. Elle sera déclenchée lorsque l'extrémité du bras robotisé — de 3,2 m de long — touchera la surface de Bénou. Le contact avec le sol libérera alors un jet d'azote gazeux produisant des vortex et soulevant un flot de poussières aussitôt aspirées par le système de prélèvement. *« Tout cela en moins de 5 secondes !,* précise Patrick Michel. *Le vaisseau s'éloignera alors en gardant sa "trompe" étendue. Cela permettra à la Nasa de calculer précisément le moment d'inertie de la sonde, grandeur liée à la masse et la vitesse d'un objet en rotation. Grâce à cette mesure, nous saurons immédiatement si la collecte a fonctionné comme prévu et la quantité de matériaux recueillie. »* La perche pourra alors se replier, en entraînant les échantillons dans la petite capsule qui atterrira en 2023 sur notre planète.

Des chercheurs français participeront aux analyses

75 % de ces échantillons seront conservés à Houston (États-Unis) à disposition des générations futures et des techniques d'analyse — plus performantes — développées dans les prochaines décennies. *« Les 25 % restants seront examinés par les meilleurs laboratoires internationaux, français notamment,* indique Guy Libourel, responsable pour l'Europe des discussions avec la Nasa. *Même si la France n'a jamais organisé de telles opérations de collecte, elle abrite des chercheurs mondialement reconnus dans l'analyse d'échantillons extraterrestres, qu'ils proviennent de météorites, de comètes ou encore de la Lune »*, explique le scientifique niçois. Ils feront ainsi « parler » les échantillons de l'astéroïde, apportant leurs lots de surprises sur l'origine de la vie et du système solaire et racontant peut-être une nouvelle histoire sur ces astres vagabonds. ■

Franck Daninos @fdaninos

Des simulations de tests de bruits et vibrations que vous pouvez voir et entendre !



Visualisation du niveau de pression acoustique à l'extérieur de la boîte de vitesse et des contraintes de von Mises induites par les vibrations dans son carter.

L'approche la plus efficace pour réduire le rayonnement sonore d'une boîte de vitesses consiste à effectuer une analyse vibro-acoustique pour savoir comment en améliorer la conception. Les essais de bruits, vibrations (NVH) sont une partie importante du processus de conception et peuvent être simulés avec un logiciel multiphysique.

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des composants et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche. Découvrez comment vous pouvez l'appliquer pour la modélisation des vibrations et du bruit des boîtes de vitesses.

comsol.blog/NVH-simulation

COMSOL

Une nouvelle population de trous noirs a été détectée

L'onde gravitationnelle la plus lointaine jamais repérée a permis d'observer la formation d'un trou noir de masse intermédiaire, une catégorie encore inédite.

Elle s'appelle GW190521 et a voyagé pendant 7 milliards d'années avant de balayer la Terre le 21 mai 2019. Deux articles scientifiques parus début septembre ont révélé qu'à cette occasion, trois antennes interférométriques ont frémi à son passage : les deux de l'observatoire Ligo, situées sur le continent américain, et celle de son homologue Virgo, en Italie. Voilà cinq ans que les physiciens repèrent ces infimes oscillations de l'espace-temps, issues de la fusion de deux astres compacts, telles que les avait prévues Albert Einstein il y a un siècle.

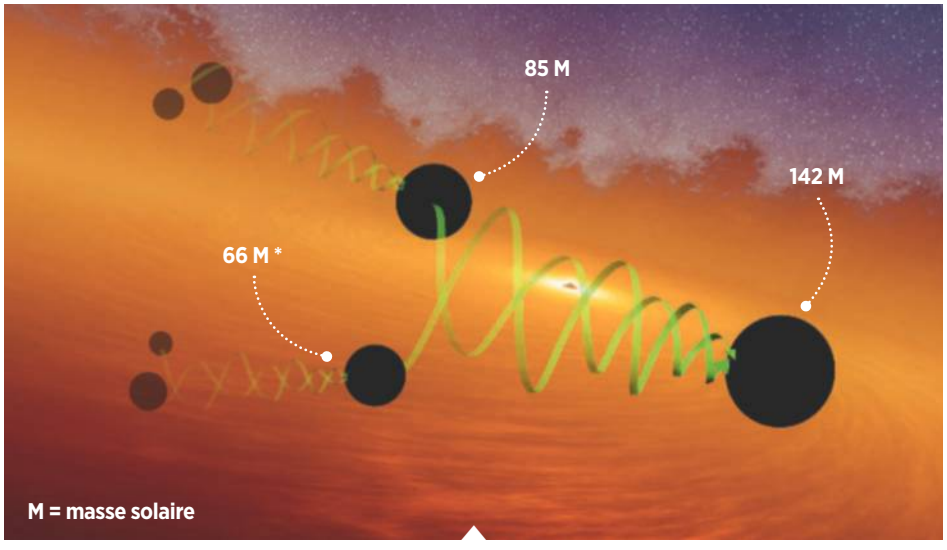
Mais si GW190521 sort du lot, c'est d'abord qu'il s'agit de l'onde gravitationnelle la plus lointaine jamais repérée : l'événement est survenu à 9,4 milliards d'années-lumière de la Terre (compte tenu de l'expansion de l'Univers durant son voyage). Ensuite, elle correspond à la fusion de deux trous noirs, l'un de 65 masses solaires et l'autre de 85, qui a formé un astre de 142 fois la masse du Soleil : une catégorie de trous noirs — désignée « de masse intermédiaire », soit entre 100 et 1000 fois la masse solaire — qui n'avait encore jamais été détectée. « *Jusque-là seuls quelques cas avaient été rapportés, mais comme ces astres n'émettent aucune lumière, il s'agissait de déductions faites à partir du rayonnement électromagnétique de leur environnement, qui permettait de calculer leur masse* », explique Nelson Christensen, directeur de recherche au CNRS, à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Désormais les astrophysiciens doivent compter avec ces trous noirs de masses intermédiaires en plus des deux catégories classiques : ceux de moins de 10 fois la masse du Soleil, résultat de l'effondrement d'une étoile, et ceux, supermassifs, qui peuvent rassembler jusqu'à des milliards de fois la masse du Soleil et qui se trouvent au cœur des galaxies.

Deux hypothèses à vérifier sur son origine

Autre bizarrerie : les masses des étoiles qui ont fusionné, notamment celle de 85 masses solaires. Un cas difficile à expliquer, car « *les étoiles très massives qui s'effondrent sont entièrement soufflées lors de l'explosion qui aboutit à la formation d'un trou noir, à moins que le trou noir soit lui-même issu de la fusion de trous noirs plus petits…* » s'interroge Nelson Christensen. En vertu de cette dernière hypothèse, cet astre serait donc déjà le résultat d'une fusion de trous noirs plus petits. « *Ce cas de figure pourrait survenir au cœur d'un amas globulaire, un ensemble dense de centaines de milliers d'étoiles*, confirme David Elbaz, directeur de recherche au CEA.

Mais ce trou noir de 85 masses solaires pourrait aussi être issu de l'effondrement d'une étoile qui se serait produit sans qu'il n'y ait eu d'explosion. « *C'est ce qui a pu arriver aux étoiles formées dans un univers très jeune* », poursuit David Elbaz. Pour confirmer l'hypothèse, il faudra attendre la détection d'autres ondes gravitationnelles atypiques. ■

Azar Khalatbari



LIGO/VIRGO/DISCOVERY/RESOURCES

Le trou noir de 142 masses solaires (à droite) est issu de la fusion de deux astres plus petits (à gauche). C'est le premier ayant une masse entre 100 à 1000 fois celle du Soleil à être observé.

SPL/BIOSPHOTO

L'eau des océans qui étaient déjà présents il y a 4,4 milliards d'années a été délivrée des roches terrestres primitives.

L'eau terrestre aurait toujours été là

Les roches auraient contenu suffisamment d'hydrogène pour avoir livré à la Terre l'eau de ses océans.

D'où provient l'eau des océans qui couvrent aujourd'hui 70,9 % de la surface terrestre et qui baignaient déjà notre planète il y a 4,4 milliards d'années ? Deux hypothèses. Au moment de la formation de la Terre, il y a 4,5 milliards d'années, les magmas auraient pu relâcher eau et autres volatils stockés dans les roches. Autre possibilité : l'apport plus tardif d'une pluie de comètes et de météorites en provenance du Système solaire externe plus froid et où l'eau était plus abondante. Les partisans de cette dernière hypothèse mettent en exergue le fait que notre planète s'est formée dans une région proche du jeune Soleil, où régnaient à cette époque des températures trop élevées pour que l'eau s'agglomère aux autres solides sous forme de glace.

Un nouvel argument

Une étude publiée dans *Science* par des chercheurs du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de l'université de Lorraine, à Nancy, apporte un nouvel argument au débat, affirmant que la majeure partie de l'eau de la Terre y était sans doute présente à sa naissance. Ils ont analysé 13 météorites, dites chondrites à enstatite. Formées dans les chaudes régions internes du Système solaire, il y a 4,5 milliards d'années, ces briques de matière originelles, semblables à celles qui ont donné naissance à la Terre et donc de composition similaire, étaient présumées dépourvues d'eau. Mais les mesures de leurs teneurs en hydrogène montrent que ces pierres contiennent jusqu'à 0,54 % d'eau pour les échantillons qui ont été peu chauffés au cours de leur périple et demeurent proches de leur état primitif. Conclusion : les roches terrestres auraient contenu, il y a 4,5 milliards d'années, suffisamment d'hydrogène pour avoir livré à la Terre au moins trois fois la masse d'eau de ses océans ! Les chercheurs estiment ainsi que seulement 5 % de celle-ci ont été apportés par des comètes ou des astéroïdes hydratés. ■

Sylvie Rouat @srouat1

AURÉLIEN ALVAREZ

PAR AURÉLIEN ALVAREZ *

Zola ou l'écriture mathématique

En commentaire introductif de *La Fortune des Rougon*, le premier roman de la série des Rougon-Macquart, Émile Zola présente son projet d'écrire l'*« Histoire naturelle et sociale d'une famille sous le Second Empire »* en ces termes : *« Je tâcherai de trouver et de suivre, en résolvant la double question des tempéraments et des milieux, le fil qui conduit mathématiquement d'un homme à un autre homme. Et quand je tiendrai tous les fils, quand j'aurai entre les mains tout un groupe social, je ferai voir ce groupe à l'œuvre, comme acteur d'une époque historique, je le créerai agissant dans la complexité de ses efforts, j'analyserai à la fois la somme de volonté de chacun de ses membres et la poussée générale de l'ensemble. »*
Au-delà de l'utilisation de l'adverbe « mathématiquement », il me semble qu'il y a un parallèle fort entre le projet naturaliste d'Emile Zola et le difficile art de rédiger des mathématiques. Tout d'abord, écrire des mathématiques s'inscrit dans un contexte, que ce soit par exemple celui de l'école ou de l'université, et une époque : on n'écrit pas en 2020 comme on écrivait en 1871 et on ne saurait faire la liste des problèmes mathématiques qui ont pu passionner les gens et qui n'intéressent plus personne aujourd'hui... Mais une rédaction mathématique, ce sont aussi de très nombreux personnages qui peuvent être des figures géométriques, des structures algébriques, des morphismes et des relations... ainsi que d'innombrables et complexes interactions entre les uns et les autres. Faire des mathématiques, c'est tenir tous ces personnages ensemble, analyser la somme des « volontés » de chacun et faire émerger quelque chose de remarquable, voire d'inattendu, qui ne demande plus qu'à être « contemplé » : c'est cela que l'on appelle un théorème. ■

> « Faire des mathématiques, c'est faire émerger quelque chose de remarquable, voire d'inattendu, qui ne demande plus qu'à être contemplé »

* Professeur à l'ENS de Lyon

L'enfance dorlotée des bébés préhistoriques

La recherche sur les mille premiers jours de vie des enfants de nos lointains ancêtres est un champ balbutiant mais déjà fécond.

Par Rachel Mulot @RachelFleaux

Il y a 3000 ans au moins, les parents donnaient déjà le biberon à leurs enfants ! Des analyses chimiques menées par Julie Dunne, archéologue et biochimiste à l'université de Bristol (Royaume-Uni) ont en effet confirmé en septembre 2019 que des céramiques à bec verseur *(voir ci-contre)*, du type de celles que l'on trouve en nombre dans toute l'Europe dès il y a 7000 ans avant notre ère, recelaient des résidus de lait de ruminants domestiqués. Le recours au lait animal pour remplacer l'allaitement maternel pourrait même être plus ancien encore : les petits auraient pu avoir été nourris avec des outres — dont la trace n'a pas été retrouvée puisque faites en peau — avant que les populations de chasseurs-cueilleurs il y a 100 000 à 40 000 ans n'acquièrent la maîtrise de la poterie. Mais comment remonter dans le temps pour étudier la naissance, la croissance, l'alimentation et les premiers pas vers l'autonomie de ces bébés préhistoriques avant l'élevage et l'agriculture ? En quoi leur vie différait-elle de celle d'un petit *Homo habilis* ou d'un bambin australopithèque, il y a 2 millions d'années ou plus ? En dépit des maigres indices matériels, ce champ de recherche a récemment livré d'étonnantes découvertes, grâce à de nouvelles méthodes et techniques exploratoires.

La dernière en date porte sur la plus vieille enfant connue au monde avec ses 3,3 millions d'années : Selam, une petite *Australopithecus afarensis*, de la même espèce que Lucy. Un trésor de l'humanité avec son squelette quasi complet alors que les fossiles d'individus juvéniles aussi bien conservés sont rares *(lire l'encadré p. 52)*. Elle avait très exactement 2 ans et 4 mois au moment de sa mort selon des analyses dentaires parues dans *Science Advances* en avril. Et il apparaît qu'à ce jeune âge, la petite bipède pouvait déjà grimper aux arbres, comme en attestent ses *« omoplates "de gorille" fines comme du papier ou ses longues*

Une réplique de « biberon » préhistorique a permis aux chercheurs de s'assurer que cet objet était facilement manipulable par un très jeune enfant.

◀ ▶

Ces céramiques à bec verseur, datées de 1200 à 800 avant notre ère, conservaient des résidus de lait. Ce type d'ustensiles apparaît dès 7000 avant notre ère.

KATHARINA REBAY-SALISBURY - HELENA SEIDL DA FONSECA

phalanges courbes », raconte Zeresenay Alemseged, de l'université de Chicago (États-Unis), qui dirige les fouilles de Dikika (Éthiopie), le site où elle a été repérée dès l'an 2000. Le scanner ultrafin par microtomographie X — une puissante technique d'imagerie et d'inspection en 3D non destructive —, réalisé au synchrotron de Grenoble, a aussi révélé que *« le rythme de développement des dents était largement comparable à celui des chimpanzés et donc plus rapide que chez l'humain moderne »*, précise Tanya Smith, de l'université Griffith (Australie). Les dents portent en effet de plus ou moins fines lignes de croissance, lisibles comme les cernes des arbres.

Les dents de Selam ne sont pas les seules à avoir parlé : les chercheurs ont également réussi à extraire des informations de sa boîte crânienne. Si le cerveau lui-même ne se fossilise pas, les tissus entourant sa couche externe laissent une empreinte dans la boîte crânienne à mesure de son développement et de sa dilatation vers l'avant après la naissance. Les scientifiques ont ainsi pu établir que, contrairement aux hypothèses préalables, elle avait également un cerveau simiesque. *« [L'enfant] avait, exactement comme les grands singes, un cerveau doté d'un sillon dit lunaire, profond, bien défini, formant une séparation entre les aires de la vision et le reste du néocortex où se jouent des processus complexes »*, détaille Dean Falk, de l'université de Floride (États-Unis). Toutefois, le cerveau des *A. afarensis* était 20 % plus volumineux que celui des chimpanzés actuels. En outre, différentes comparaisons montrent que *« le cerveau du bébé de Dikika a grandi plus lentement, dans une direction semblable à celle des* Homo, *ce qui impliquerait une enfance prolongée »*, estime Tanya Smith.

VINCENT BALTER

« Les jeunes "Homo" tétaient leur mère plus longtemps que les australopithèques »

Vincent Balter, directeur de recherche CNRS, Laboratoire de géologie de Lyon, terre Planète, environnement (ENS Lyon/CNRS/université Claude-Bernard)

Une période de dépendance plus longue

Que conclure de tous ces résultats sur les stratégies des soins aux nourrissons chez les australopithèques ? Il reste difficile de dire combien de temps un petit restait collé à sa mère et son père… mais sa période d'apprentissage, sa dépendance envers sa parentèle était certainement plus longue que celles du jeune chimpanzé, déjà autonome vers 6 mois. Et ce à une période critique pour son développement propre, mais aussi pour l'évolution de l'espèce. Une croissance lente du cerveau pourrait être, en effet, un moyen de répartir les besoins énergétiques des petits sur plusieurs années dans des environnements où la nourriture n'est ni abondante ni régulière. Un atout en cas de disette ou de migration vers des milieux inconnus.

La question de l'allaitement et du sevrage chez les différents hominidés s'est également éclai-

ARCHÉOLOGIE

Des fossiles d'enfants rarissimes

Le corps de Selam, petite australopithèque de moins de 3 ans, daté de 3,3 millions d'années, a été bien conservé parce que l'enfant a été rapidement ensevelie dans des sédiments lors d'une crue. Ce qui l'a préservée des charognards. De tels fossiles de juvéniles préhistoriques sont rarissimes.

Les chercheurs exhument plus fréquemment des crânes, des mâchoires, des dents éparses ou autres os isolés comme la phalange de la fillette de Denisova, dont l'ADN a permis d'identifier, en 2010, une nouvelle espèce d'*Homo* datée de -41 000 ans. Ce sont dans les tombes que se retrouvent le plus d'ossements en connexion. Les premières sépultures avec enfants datent de -100 000 ans et ont été découvertes dans les années 1930, dans la grotte d'Es Skhul, sur les flancs du mont Carmel (Israël). Plus récemment, en 2016, le squelette d'un bébé de 6 mois, couvert d'ocre, les bras croisés sur sa minuscule poitrine, a été identifié dans une tombe familiale vieille de 8500 ans, non loin de Berlin (Allemagne). Il s'agirait d'un des plus anciens enfants d'Europe. Enfin, les plus jeunes de tous ont été découverts en 2015, dans une tombe sibérienne datée de -7000 à -8000 ans, avec leur mère décédée lors de l'accouchement. L'un était encore lové dans la région pelvienne maternelle, l'autre en cours d'expulsion.

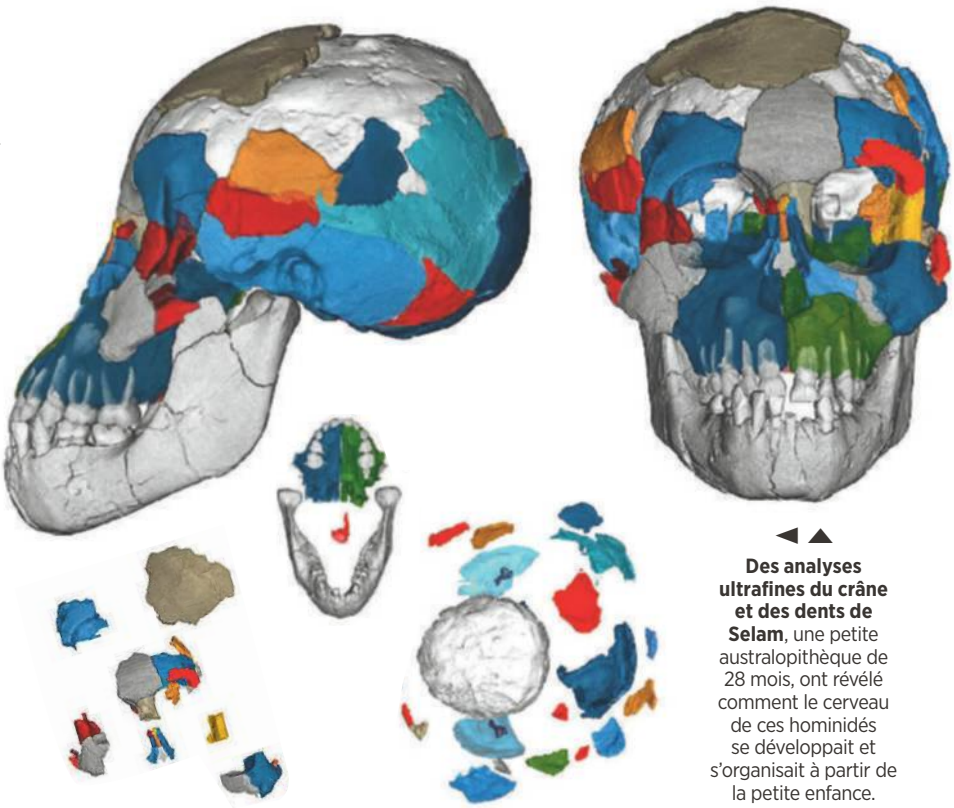
ELSEVIER

Cette sépulture datée de -92 000 ans, mise au jour à Qafzeh (Israël), en 1969, renfermait les squelettes d'une jeune femme et d'un enfant déposé à ses pieds.

rée grâce à une méthode inédite mise au point par une équipe menée par Vincent Balter et Théo Tacail, du Laboratoire de géologie de Lyon, Terre, Planète, Environnement (ENS Lyon/CNRS/université Claude-Bernard). Elle permet, à partir de quelques microgrammes de dents fossilisées, et grâce à une nouvelle génération de spectromètres de masse, de dater cette transition alimentaire. Ainsi, les premiers membres du genre *Homo*, il y a deux millions d'années, étaient allaités jusqu'à leurs 3 ou 4 ans, a établi, en 2019, l'équipe lyonnaise. Alors que leurs contemporains *Paranthropus boisei* ou leurs prédécesseurs *Australopithecus africanus* restaient au sein quelques mois à peine, avant de passer à un régime mixte. C'est ce qu'atteste la comparaison des isotopes stables du calcium présents dans l'émail des dents, dont les couches successives enregistrent une composition chimique qui signe l'historique de l'alimentation.

Les apports caloriques indispensables à la croissance d'un plus gros cerveau chez nos ancêtres ont pu être fournis par le lait de leurs mères, elles-mêmes mangeant de plus en plus de viande. « *Les jeunes* Homo *continuaient à téter leur mère plus longtemps : ce sevrage plus tardif devait impliquer des grossesses plus espacées — puisque l'allaitement est un moyen de contraception naturel —, mais aussi une organisation sociale probablement différente* », explique Vincent Balter. Les mères biologiques étaient-elles les seules à nourrir leurs jeunes sur une aussi longue durée ? D'autres jouaient-elles le rôle de nourrices, allaitantes ou non ? « *La longue histoire de l'évolution humaine a été une sorte de coopérative de maternage incluant pères, mères, oncles, grands-mères, frères et sœurs plus âgés. Chacun aidait la mère à s'occuper du petit et à le nourrir* », estime Sarah Blaffer Hrdy, une anthropologue et primatologue américaine qui a observé cette « alloparentalité » dans des sociétés de chasseurs-cueilleurs contemporaines.

Le néolithique signa finalement un arrêt brutal du recul de l'âge du sevrage. « *Le passage vers l'élevage et l'agriculture, il y a une dizaine de milliers d'années, est marqué par une diminution de l'âge du sevrage* », confirme Estelle Herrscher, du CNRS, spécialiste de la santé et de l'alimentation des populations de l'holocène (de -10 000 ans à nos jours). Pourtant, remplacer le lait d'une femme par du lait non pasteurisé de vache ou de chèvre comportait d'importants risques de contamination bactérienne, sans compter que ces substituts sont moins nutritifs que le lait maternel. Malgré cela, cette époque fut marquée par « *un retour à la fertilité plus rapide et une explosion démographique* », conclut Estelle Herrscher. Et le biberon était promis à un long avenir. ■



PHILIPP GUNZ, CC BY-NC-ND 4.0

Des analyses ultrafines du crâne et des dents de Selam, une petite australopithèque de 28 mois, ont révélé comment le cerveau de ces hominidés se développait et s'organisait à partir de la petite enfance.

LE + NUMÉRIQUE

Vidéo, animation en 3D du crâne de l'enfant de Dikika : **sciav.fr/884Dikika**

OBSTÉTRIQUE

Quand l'accouchement est-il devenu difficile ?

« Nous avons tendance à considérer l'évolution de la naissance humaine comme le passage d'une mise bas facile, comme chez les singes, à un accouchement moderne difficile… mais ce n'est pas si simple ! », lance l'anthropologue Natalie Laudicina, de l'université de Boston (États-Unis). En 2019, la chercheuse a comparé six bassins fossiles féminins datés de 3 à 2 millions d'années et modélisé le processus d'accouchement en 3D, pour conclure que chaque espèce faisait face à ses propres défis. Ainsi, les femelles *Australopithecus afarensis* ont connu un processus de mise bas plus difficile que les *Australopithecus sediba*, qui ont pourtant vécu environ un million d'années plus tard. L'experte postule que l'accouchement est surtout devenu laborieux lorsque les hominidés sont passés à la marche debout, développant un bassin plus large et plus bas pour soutenir le tronc et les viscères.

Avec les policiers qui traquent les œuvres d'art volées

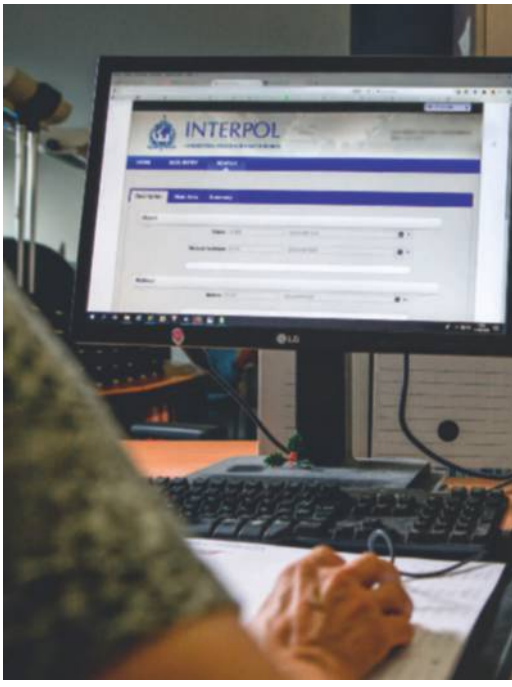
L'Office central de lutte contre le trafic des biens culturels nous a exceptionnellement ouvert ses portes à Nanterre, près de Paris. Plongée au cœur d'enquêtes très sensibles.

Un assemblage hétéroclite de chapeaux de paille déformés et de cartes postales surannées. C'est sur ce décor étonnant que l'on débouche au deuxième étage de l'immeuble qui abrite les bureaux de l'Office central de lutte contre le trafic des biens culturels (OCBC) à Nanterre. *« Nous collectionnons tout ce qu'il y a de plus moche ! Ça nous détend ! »*, sourit le commandant Jean-Luc Boyer, numéro deux de ce service très spécial, devant cet assemblage d'objets kitsch, bien loin des vierges du XVIIe siècle, des antiquités chinoises ou égyptiennes et des toiles de maître que ses équipes recherchent quotidiennement ! Bienvenue dans l'un des plus discrets services de police de France qui fête cette année ses 45 ans d'existence.

3 à 5
milliards d'euros par an
Le marché d'œuvres d'art volées, soit le 3e commerce illégal mondial après les stupéfiants et les armes (Office des Nations unies contre la drogue et le crime).

Rencontrer les policiers de l'OCBC — un service spécial de la Direction centrale de la Police judiciaire — n'est pas une mince affaire. Des mois de négociations ont été nécessaires pour lever un pan de voile sur le travail de ces 25 fonctionnaires — dont 15 enquêteurs — dont les cibles sont les vols de biens culturels et toutes les infractions associées : recel, trafic d'œuvre d'art et d'antiquités. C'est précisément dans le milieu très feutré des collectionneurs d'art et des antiquaires parisiens que s'est déroulé leur dernier coup de filet retentissant : cinq personnes ont été interpellées, soupçonnées de participer à un vaste trafic d'antiquités provenant de pays instables du Proche et Moyen-Orient *(lire l'encadré p. 56)*. L'OCBC a été créé en 1975, sous le nom d'Office central pour la répression du vol d'œuvres et d'objets d'art, à une époque où les vols dans les églises, stimulés par un marché

Le commandant de police Jean-Luc Boyer, chef adjoint de l'OCBC, dans la pièce qui abrite des biens culturels récemment retrouvés au cours des enquêtes.



international de l'art religieux florissant, étaient en forte expansion. *« Dans les années 1970 et 1980, nous avons dû faire face à 15 000 à 20 000 vols par an !* se souvient Jean-Luc Boyer. *Ces vols étaient commis par des bandes organisées, en particulier deux filières belge et italienne commanditées alors par la mafia sicilienne. Nous sommes parvenus à quasiment assécher ce marché clandestin en interpellant les plus gros receleurs. En 2019, les vols sont ainsi passés sous la barre des 2000 par an en France. »*

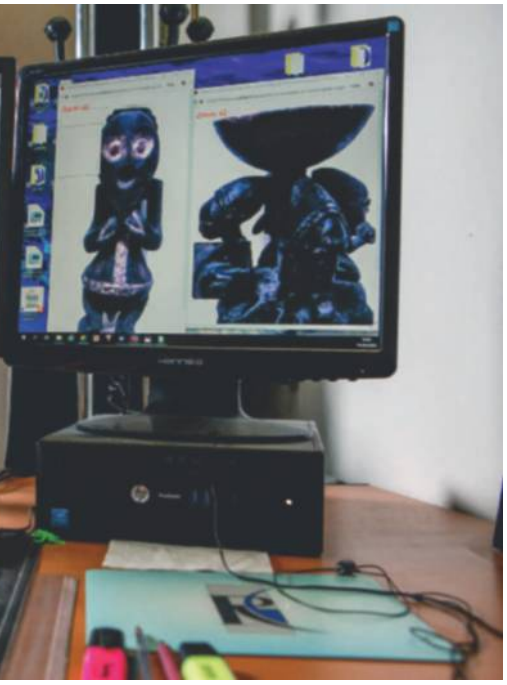
Issus pour moitié de la gendarmerie et de la police nationale, ses enquêteurs peuvent intervenir sur l'ensemble du territoire, Outre-mer, mais aussi à l'étranger, quand les enquêtes l'exigent pour prêter assistance aux enquêteurs locaux. *« Les vols de biens culturels suivent des procédures spécifiques et nous sommes cosaisis pour ces affaires particulières par les magistrats instructeurs afin d'épauler les antennes locales de police judiciaire »*, explique Jean-Luc Boyer. Les informations recueillies sont aussitôt intégrées dans les fichiers de police et de gendarmerie, à commencer par la base de données spécialisée de l'OCBC, Treima, et reversées dans celle d'Interpol, Psyché. Treima (Thésaurus de recherche électronique et d'imagerie en matière artistique) est une photothèque numérisée où sont regroupés tous les objets volés. Description précise de l'œuvre disparue, fiche des victimes..., tout est consigné. Au total, Treima compte plus de 10 000 références, parmi lesquelles celles des médaillons royaux récemment subtilisés à la Bibliothèque nationale de France à Paris ou celles de cette centaine d'objets (statuettes et bijoux) dont la disparition d'un musée renommé situé en bord de Seine a été découverte lors d'un récolement (contrôle décennal des collections) et pour laquelle l'institution a porté plainte en 2018. Ou encore cette couronne ornée de pierreries dérobée en 2017 dans une cathédrale du centre de la France...

> « En 2019, les vols sont passés sous la barre des 2000 par an en France »
> **Jean-Luc Boyer,** chef adjoint de l'Office central de lutte contre le trafic des biens culturels, Nanterre

Faire des recoupements selon les modes opératoires

La liste des objets disparus de grande valeur est cruellement longue. *« Treima nous permet de faire des recoupements concernant les modes opératoires. Un bureau spécial, celui du Traitement judiciaire et de la statistique, épluche et croise toutes ces procédures »*, explique Marine C., une membre du service qui travaille également avec d'autres bases comme Mérimée — pour le patrimoine architectural — et Palissy — pour le patrimoine mobilier. *« Tout objet s'affichant dans ces bases devient alors invendable légalement, ce qui constitue un frein important au pillage »*, explique Alain H., un de ses collègues. Et si le but de tous ces

Les bases de données Treima de l'OCBC et Psyché d'Interpol recensent plus de 50 000 objets volés avec leur description détaillée ou leur photo.



ZONES DE GUERRE

Les antiquités de sang

L'importation illégale d'objets en provenance de zones de guerre du Proche et du Moyen-Orient préoccupe particulièrement les enquêteurs de l'OCBC. Les chiffres disponibles font état de plus de 15 000 antiquités pillées en Irak, que ce soit dans les musées ou sur des sites archéologiques. Ce trafic se situerait au 3e rang des commerces illicites mondiaux selon l'Office des Nations unies contre la drogue et le crime pour une valeur de 3,1 à 5,7 milliards d'euros. L'écoulement du butin peut prendre des décennies. Certains objets pillés en 2003 sont ainsi arrivés sur les marchés occidentaux dix à quinze ans après. Une partie du produit des rapines du groupe terroriste Daech dormirait ainsi dans les ports francs de Singapour, Hong Kong ou Genève, à l'abri des contrôles douaniers, et pourrait être écoulée d'ici à 2030. Des ports francs dans lesquels, ont découvert les policiers, *« se déroulent des ventes aux enchères sans que jamais les pièces ne sortent où même ne soient vues par les acheteurs ! »*, confirmant que les biens culturels pouvaient être des vecteurs de blanchiment d'argent. Des sommes énormes sont ainsi recyclées par l'achat d'œuvres d'art, qui par le jeu des ventes et reventes, finissent par être légalisées et certifiées.

Cette sculpture importée illégalement de Cyrénaïque (Libye) a récemment été saisie par l'OCBE.

efforts est bien sûr de retrouver les œuvres volées, ils visent aussi à empêcher de nouveaux délits, par le biais des audits de sécurité réalisés par ces spécialistes auprès des musées.
Pourtant, le pourcentage d'élucidation des affaires amène les policiers à rester humbles. *« Sur la totalité des enquêtes, le taux de résolution est de 5 % »*, reconnaît Jean-Luc Boyer. Les enquêteurs ont retrouvé, par exemple, un inestimable Rembrandt volé au musée de Draguignan en 1999. Mais les malfaiteurs savent que les vols de biens culturels — à l'exception de ceux appartenant à l'État — sont prescrits *« à compter du premier détenteur de bonne foi »*, autrement dit du premier particulier ou propriétaire de galerie pouvant produire une facture attestant de ladite bonne foi. On parle alors de « prescription acquisitive » et en vertu de l'article 2276 du code civil qui précise *« qu'en fait de meubles, possession vaut titre »*, le détenteur de l'objet est réputé en être le propriétaire sans avoir besoin de titre. *« Même si l'ancien propriétaire peut prouver que l'objet en question lui appartenait, il ne peut plus rien faire »*, explique Jean-Luc Boyer. *« En revanche*, précise-t-il, *le recel est un délit continu. Si une personne est interceptée avec un objet d'art volé, les faits ne sont pas prescrits. »* Tout le marché se divise ainsi entre détenteurs de « bonne » et de « mauvaise » foi. Pour un vol simple, la peine encourue est de trois ans de prison, contre sept ans pour celui d'un trésor national. Mais, dans tous les cas, si l'objet n'a pas été retrouvé au bout de six ans, les faits sont prescrits, là encore à l'exception des biens nationaux pour lesquels la prescription n'existe pas. *« Tout cela est lourd à gérer car c'est aux enquêteurs ou aux magistrats d'établir les preuves de la mauvaise foi »*, avoue le coresponsable de l'OCBC.

Contrefaçon et « ciblage » en pleine expansion

Les policiers font désormais face à deux nouveaux adversaires redoutables, en constante progression : la contrefaçon et le « ciblage ». La première inonde les musées et galeries de New York à Shanghai, allant du faux Brueghel à des bronzes écoulés en série. Le second désigne le vol d'œuvres précises par des équipes internationales répondant à des commanditaires. Pour l'OCBC, la parade serait d'améliorer le suivi des œuvres d'art afin de connaître leur histoire et parcours au sein du marché de l'art et des institutions muséales. Une course sans fin. ■ **Bernadette Arnaud**

@NarudaaArnaud

Photos : Julien Faure/Leextra pour Sciences et Avenir

À quoi ressemblait un lit il y a 200 000 ans

Découverte dans une grotte sud-africaine, cette litière alterne des couches végétales avec de la cendre, utilisée comme insectifuge et isolant thermique.

Perchée sur une falaise dans les monts Lebombo en Afrique du Sud, la grotte de Border Cave vient de livrer un inestimable trésor : une équipe internationale d'archéologues dirigée par Lyn Wadley, de l'université du Witwatersrand à Johannesburg, y a identifié le plus ancien lit jamais découvert. Datant d'environ -200 000 ans, il se présente sous la forme de litières végétales fossilisées, alternant avec des couches de cendres. Le précédent record appartenait à une litière vieille de 77 000 ans, découverte sur le site de Sibudu, également en Afrique du Sud.

La confection des lits sur les deux sites est comparable. Celui de Sibudu consiste en une superposition de couches de joncs et de carex (plantes des zones humides), recouvertes de feuilles aromatiques insectifuges et larvicides. À Border Cave, nos ancêtres ont utilisé principalement des gerbes de plantes de la sous-famille des *panicoideae* à larges feuilles — plantes fourragères qui poussent encore dans les environs —, agrémentées de feuilles de camphrier, arbre insectifuge. Surtout, dans les deux cas, les habitants ont fait appel au feu pour leur entretien : les tapis d'herbe ont été régulièrement brûlés, vraisemblablement par souci d'hygiène, et la cendre utilisée comme sous-couche isolante et, probablement, pour se protéger des insectes rampants et des tiques. À Border Cave, les archéologues ont ainsi déduit de la localisation des différentes litières, placées à proximité de foyers tout au fond de la grotte, que les habitants les préparaient en brûlant d'anciennes litières, puis en recouvrant la cendre d'une nouvelle couche d'herbes.

PHOTOS : D. STRATFORD, L. WADLEY

La litière fossilisée (ci-dessus) mise au jour par les fouilles (en haut) mêlait des gerbes de plantes de la sous-famille des *panicoideae* et des feuilles de camphrier.

Des aptitudes cognitives et sociales complexes

Le site de Border Cave témoigne donc du fait que ses habitants avaient d'autres usages du feu que ceux maîtrisés par les humains il y a environ 400 000 ans (s'éclairer, se chauffer, cuisiner, se protéger des prédateurs), explique Lyn Wadley dans la revue *Science*. Pour l'archéologue, le recours au feu pour assainir les litières témoigne de « *l'entretien des campements, qui permet d'allonger la capacité d'occupation des lieux* ».

Une pratique qui suggère en outre des aptitudes cognitives et sociales complexes dès cette époque : on ignorait jusque-là qu'il y a 200 000 ans, les chasseurs-cueilleurs nomades étaient déjà capables de protéger leur campement des parasites, grâce à leur maîtrise du feu et à leur connaissance des plantes médicinales. ■

Sara de Lacerda

La fonte du pergélisol menace la planète

Repeupler les steppes avec des chevaux et des bisons permettrait de retarder la fonte de terres normalement gelées en permanence qui déstabilise les sols et menace de larguer dans l'atmosphère du méthane voire des virus. Explications.

Par Rachel Mulot @RachelFleaux

Le sol se dérobe sous les pieds des Russes... provoquant récemment *« une catastrophe sans précédent par son ampleur »*, selon Svetlana Radionova, cheffe du Service fédéral de surveillance des ressources naturelles Rosprirodnadzor. Une marée noire a lourdement pollué Norilsk, en Sibérie orientale, le 29 mai. Un réservoir de diesel d'une centrale thermique, filiale du géant minier Norislk Nickel s'est effondré, vomissant 20 000 tonnes de carburant dans la rivière Ambarnaïa et sur les sols qui ont viré à l'orange. Il s'agit du plus gros désastre écologique depuis l'*Exxon Valdez*, qui avait déversé 40 000 tonnes de pétrole brut en Alaska en 1989 et il faudra des mois et des milliards de roubles pour l'éponger. Selon la compagnie, *« le réservoir a été endommagé*

80 % du pergélisol pourrait être sauvé par les ruminants (université d'Hambourg, Allemagne).

quand les piliers enfoncés dans le pergélisol [le sol normalement gelé en permanence, permafrost en anglais] *et qui le soutenaient depuis trente ans ont commencé à s'enfoncer* ». Et si l'accident de Norilsk est sans précédent, il n'a pas été sans récidive rapide : dès le 12 juillet suivant, une nouvelle fuite de 44,5 tonnes de pétrole provenant d'un pipeline, certes ancien « *mais dont les structures de support étaient défaillantes* » a eu lieu, a fini par reconnaître le porte-parole du groupe Norilsk Nickel auprès de *Sciences et Avenir*. « *70 % des infrastructures situées dans cette zone sont irrémédiablement menacées et quatre millions de personnes concernées* », selon une étude pilotée par Jan Hjort, de l'université d'Oulu en Finlande, parue en 2018 dans *Nature Communications*. De quoi faire trembler en premier lieu Iakoutsk, la plus grande cité construite sur ce sol de plus en plus instable ou la centrale nucléaire de Bilibino *(lire p. 61)*.

40 % du pergélisol pourrait fondre avant la fin du siècle selon une étude britannique de *Nature Climate Change* de 2017. Fini le mythe du socle du « gel éternel » ! La couche « dégelée, active » descend jusqu'à trois mètres l'été, alertent des scientifiques américains, canadiens, finlandais, russes etc. Surtout « *la fonte du pergélisol ne concerne pas que les Russes, les Canadiens, les gens du Grand Nord mais menace tous les Terriens* », martèle Paul Hawken, fondateur de l'ONG Drawdown qui œuvre pour inverser le cours du changement climatique. Il est troublant de constater que parmi les 100 solutions que son *think tank* de 70 scientifiques a élaborées, la sauvegarde du pergélisol, « *par un pâturage accru des steppes, un tassage de la neige, bref un retour des animaux à sabots sur ces terres du Grand Nord,* » lui paraît « *la plus importante pour la planète, la plus efficace à court terme* ». On est à

BRUNO BOURGEOIS

Le pergélisol est une couche de terre gelée en permanence au Canada, en Alaska et en Sibérie, formant près d'un quart des terres émergées de la planète, et occupant 60 % de la Russie.

ERICBACCEGA/AGEFOTOSTOCK.COM

En grattant le sol avec leurs sabots afin de trouver de l'herbe, les rennes, comme les bisons ou les chevaux dispersent la couche de neige mettant à nu le sol, ce qui entraîne son refroidissement.

RISQUE INDUSTRIEL

Bilibino, centrale nucléaire de l'extrême

Entièrement construite sur le permafrost, la centrale nucléaire de Bilibino, du type de celle de Tchernobyl, avec ses réacteurs de grande puissance RMBK de conception soviétique, est située dans le district autonome de Tchoukotka, à l'extrême est de la Sibérie orientale. Ses quatre réacteurs, élevés entre la fin des années 1960 et le début des années 1970, devraient fermer définitivement d'ici à 2025, selon les autorités russes. Le premier d'entre eux — Bilibino 1, opérationnel depuis 1974 — serait même totalement déconnecté du réseau depuis 2019, selon l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Les Russes ne laissent plus filtrer d'informations sur cette centrale, si ne c'est pour reconnaître qu'elle est un sujet sensible.

mille lieues des solutions high-tech et ultra-énergivores préconisées par le consortium américain ConocoPhillips qui a annoncé fin août dernier vouloir recongeler les sols, *via* des tubes ou fabriquer un pont de glace pour pouvoir continuer à forer le pétrole en Arctique, en admettant que la température devrait augmenter de 2° à 4 °C d'ici à trente ans dans ses zones d'exploitation, une estimation d'ailleurs optimiste.

Une bombe climatique à retardement

Cette couche de terre gelée recèle en effet d'énormes quantités de carbone, qui pourraient être émises dans l'atmosphère sous forme de gaz à effet de serre. Et par un effet domino transformer la terre en une étuve. Le Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a commencé depuis quatre ans seulement à prendre en compte cette menace dans ses calculs, faisant désormais apparaître comme optimistes les projections d'une augmentation de la température terrestre moyenne de 4 °C à 5 °C. Car sous l'effet du réchauffement, le pergélisol fond et le carbone se transforme en CO_2 (dioxyde de carbone) et en CH_4 (méthane). Il pourrait s'en former deux fois plus que n'en recèle l'atmosphère. Soit de 1400 à 1700 tonnes, selon les estimations menées jusqu'à présent. Ce qui accroîtrait gravement l'effet de serre.

« *C'est une bombe climatique à retardement* », confirme Florent Dominé, physicien du laboratoire international Takuvik (unité mixte internationale CNRS/université de Laval, Québec), spécialiste des interactions neige-climat-pergélisol. « *Chaque année, on découvre de nouvelles rétroactions positives qui modifient les dynamiques thermiques en cours* », explique le scientifique. Pire, le dégel de ces couches pourrait libérer des centaines de tonnes de mercure dans les écosystèmes, selon une étude de 2018 du National Snow and Ice Data Center (États-Unis). Un métal lourd, hautement toxique pour l'homme. « *Avec le froid, les plantes de la toundra se décomposent très lentement*, explique Hélène Angot, chercheuse à l'université du Colorado (États-Unis), spécialiste du cycle du mercure en région polaire. « *Le sol stocke ainsi d'énormes quantités de matière organique.* » Or, après avoir circulé à l'état gazeux dans l'atmosphère, le mercure se mêle de façon intrinsèque à cette matière organique. « *Ce métal lourd s'est ainsi accumulé, dans des proportions estimées entre 180 000 et 800 000 tonnes dans le pergélisol depuis des milliers d'années.* » D'autres scientifiques s'inquiètent par ailleurs du réveil des virus que pourrait libérer le sol. Que faire, dès lors ?

GREENPEACE RUSSIA

20 000 tonnes d'hydrocarbures se sont déversées, en mai, dans l'Ambarnaïa, une rivière de Sibérie orientale, après l'effondrement du réservoir d'une centrale thermique dû au dégel du pergélisol.

Recréer une steppe comme au temps des mammouths

Tous les regards sont aujourd'hui tournés vers le parc du pléistocène, en Sibérie septentrionale, et sa proposition autrefois jugée fantasque de reconstituer l'écosystème de la steppe à mammouths, qui dominait dans l'Arctique à la fin du pléistocène. Sans les cousins de l'éléphant, aujourd'hui bel et bien disparus, mais avec des ruminants rustiques et solides. Comme le poney sibérien iakoute, doté d'une forte masse graisseuse et de larges sabots solides, qui peut survivre par –70 °C, en grattant le sol pour atteindre les quelques brins d'herbe recroquevillés sous la neige glacée. « *Pour garder la planète au frais, il faut que les régions subpolaires soient couvertes d'herbes et non d'arbres* », estiment Sergei et Nikita Zimov qui ont fondé en 1988 une réserve naturelle expérimentale et un centre scientifique en Sibérie. Les chevaux, les bœufs musqués — ou même les bisons importés du Canada depuis quelques années — grattent et dispersent la couche neigeuse pour exposer l'herbe. Or, la neige est un puissant isolant qui protège le sol de l'air ambiant bien plus glacial. Une couverture moelleuse qui accélère la fonte des sous-sols. « *Partout où les ruminants passent, le sol*

KATIE ORLINSKY

Les sols de la falaise Duvanny Yar, le long de la rivière Kolyma dans le nord de la Sibérie, ne cessent de fondre, libérant du carbone.

refroidit de 1 à 2 °C », assure Nikita Zimov. Les arbrisseaux sont dévorés et ne permettent plus la formation de monticules neigeux qui accroissent l'effet isolant de la neige. Bien entendu, il n'est pas question de relâcher des millions d'animaux sans mesurer leur impact et notamment celui de leurs rots parfois libérateurs de méthane. Mais, assurent Nikita Zimov, *« la régénération des sols est possible par le réensauvagement des terres du Nord, autrefois de grandes prairies, et de formidables puits à carbone, aujourd'hui abandonnées. Lorsque les herbivores les parcouraient, la Terre comptait deux fois plus de bêtes en termes de nombre et de poids que n'en contient de nos jours l'ensemble des élevages, parcs d'engraissement et autres usines animalières »*. Dans la steppe à mammouths, aujourd'hui considérée comme « inhospitalière », conclut Paul Hawken, *« le retour aux origines sauvages pourrait avoir des répercussions phénoménales »*. Selon les travaux de l'université d'Hambourg (Allemagne), publiés en mars dans *Scientific Reports*, jusqu'à 80 % du pergélisol pourrait être sauvé par là où passent les animaux et leurs sabots. ■

ANTHRAX ET MÉGAVIRUS

Une boîte de Pandore dans le Grand Nord

En 2016, un enfant est mort en Sibérie, lors d'une épidémie d'anthrax provenant de cadavres de rennes infectés, enterrés 70 ans auparavant, mais mis à nu par la fonte du pergélisol. Le bacille du charbon *Bacillus anthracis*, courant dans le monde sauvage, peut être mortel pour l'humain. D'autres réapparitions de virus anciens sont à attendre. Dès 2014, une équipe française dirigée par Jean-Michel Claverie et Chantal Abergel de l'université Aix-Marseille a découvert un virus géant auparavant inconnu, *Pithovirus sibericum*. Encore actif, heureusement inoffensif, il dormait dans le pergélisol sibérien depuis plus de 30 000 ans. Les analyses des dernières expéditions et prélèvements dans le sol arctique, par plusieurs missions sont en cours pour savoir quels dangers ce sous-sol pourrait receler.

Interdiction du glyphosate : les solutions alternatives sont dans l'ornière

Pour remplacer l'herbicide en 2022, l'Inrae suggère le recours au labour profond… une pratique pourtant reconnue comme néfaste pour le climat. Explications.

Comment s'en débarrasser ? Au fur et à mesure que l'échéance se rapproche, l'interdiction totale du glyphosate en France, l'herbicide le plus vendu au monde, est confrontée aux réalités de l'agriculture intensive d'aujourd'hui. Pour preuve, l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) vient de publier une évaluation économique des alternatives de traitement des « mauvaises herbes » pour les grandes cultures (blé, maïs, colza, tournesol…), après celle consacrée en 2019 à la viticulture et à l'arboriculture. Conclusion : dans 98 % des cas, l'alternative… c'est le labour. Ce qui plonge les acteurs du « dossier » glyphosate dans un océan de contradictions car cette pratique est désormais bien connue pour être néfaste pour les sols et le climat ! Comment expliquer ce paradoxe ?

La mise au point de solutions respectueuses de l'environnement en remplacement du très controversé glyphosate est pourtant une priorité. Son Autorisation de mise sur le marché (AMM) sur le continent européen s'arrête le 15 décembre 2022. Mais les débats sur sa prolongation éventuelle font rage, certains estimant qu'il n'existe pas d'alternative. Pourtant, fortement suspectée d'être cancérogène, la molécule a déjà valu au groupe européen Bayer, qui commercialise le Roundup, une cascade de procès aux États-Unis où le lien entre l'exposition au produit et la survenue de cancers a été reconnu par la justice. Toutes les procédures viennent d'ailleurs de se conclure le 25 juin avec la décision de l'industriel d'indemniser les victimes aux États-Unis à hauteur de 10 milliards de dollars pour solde de tout compte. En France, les pouvoirs publics, se voulant plus offensifs, ont décidé en 2019 que la mise au ban du glyphosate se ferait dès le 1er janvier 2022. Et ils se sont en parallèle engagés à ne pas laisser les agriculteurs sans solution. Raison pour laquelle une *task force* a été créée pour rechercher et diffuser les pratiques pouvant se substituer au désherbant. C'est précisément elle qui a interpellé l'Inrae en lui posant la question suivante : existe-t-il des situations agricoles où le glyphosate est irremplaçable ? « *Nous avons fait notre évaluation dans le strict cadre du règlement qui encadre les AMM et qui stipule que le retrait d'un produit est possible s'il existe une alternative d'usage courant sans impact économique majeur* », explique ainsi Alain Carpentier, directeur de recherche au Laboratoire d'études et de recherche en économie-Inrae de Rennes, l'un des auteurs de l'étude qui vient d'être rendue.

ALLILIMOURAD/SIPA

Vendu principalement sous la marque Roundup (Bayer), le glyphosate est utilisé pour détruire les mauvaises herbes.

825 grammes par hectare en moyenne

Pour ce faire, l'Inrae s'est focalisé sur les 90 % de la surface agricole utile qui utilisent toujours des produits chimiques et non sur celles qui font déjà appel aux techniques alternatives telles que l'agroécologie ou l'agriculture biologique. Soit 17 300 parcelles travaillant en agriculture conventionnelle. L'Inrae a ainsi établi que près de 20 % de ces surfaces reçoivent au moins un traitement au glyphosate par an avec une dose moyenne de 825 grammes par hectare. Les applications se font dans la grande majorité des cas (75 %) entre deux cultures pour brûler les adventices (mauvaises herbes) et les repousses des plantations précédentes, le reste concernant des destructions de couverts végétaux et des reconversions de prairies en cultures.

CONTEXTE

L'interdiction du glyphosate est en cours : en décembre 2019, l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a notifié le retrait des autorisations de 36 produits à base de cette molécule et refusé 4 nouveaux mélanges, *« les données fournies par les industriels ne permettant pas de statuer sur leur éventuelle génotoxicité »*. Il ne reste qu'une vingtaine de formulations autorisées sur le marché français contre 300 il y a cinq ans. Les restrictions seront officialisées en avril 2021, le temps que les industriels les apposent sur leurs étiquettes, et les retraits définitifs à l'automne 2021 pour une entrée en vigueur au 1er janvier 2022.

CLAUDIUS THIRIET / BIOSPHOTO

Plus un champ est labouré, moins il faut d'herbicides pour lutter contre les adventices. Mais les labours libèrent du carbone, appauvrissent les sols et favorisent l'érosion.

Et les chercheurs notent que le glyphosate règne en maître sur ses concurrents, tout aussi peu recommandables. Le dicamba (Monsanto, BASF et DuPont), plus cher, est en effet accusé de se diffuser largement au-delà des champs d'épandage et fait l'objet d'une cascade de plaintes aux États-Unis où il est commercialisé. Quant à l'hormone 2.4D (Dow AgroSciences), elle a également un profil toxicologique défavorable. Tous deux ne peuvent donc être considérés comme des alternatives. Les chercheurs ont ensuite détaillé l'usage de l'herbicide vedette selon les différentes méthodes de travail du sol, du semis direct sans labour au labour. Et c'est ainsi qu'ils ont établi que le semis direct est bien plus gourmand en glyphosate (85 %) que le labour profond annuel (7,6 %).

L'urgence climatique n'a pas été prise en compte

En effet, plus le sol est retourné, moins il est nécessaire d'utiliser un herbicide puisque les adventices sont enfouies. D'où la recommandation de cette pratique. Or il est désormais établi que le labour libère de grandes quantités de carbone — sans que l'on puisse donner de mesures précises — et appauvrit la matière organique. En outre, il met la terre à nu, ce qui provoque son érosion. C'est aussi un facteur de perte de biodiversité. *A contrario*, le semis direct est unanimement reconnu comme améliorant la fertilité des sols et la biodiversité... mais impose d'utiliser des herbicides sur les grandes surfaces.

Insoluble ? Pas forcément. L'analyse de l'Inrae est en effet biaisée. Elle envisage la substitution uniquement dans le cadre de l'agriculture conventionnelle existante, sans tenir compte de l'urgence de la lutte contre le changement climatique et la préservation de la biodiversité. Dans ce cadre,

POLLUTION

Du glyphosate dans l'air

INERIS

Les mesures faites par l'Ineris révèlent l'ampleur de la pollution aérienne due aux pesticides.

Qui cherche du glyphosate dans l'air... en trouve ! C'est l'un des résultats de la première campagne nationale de mesure des pesticides dans l'air ambiant. Entre 2018 et 2019, les scientifiques de l'Anses et de l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques) ont recherché les résidus de 75 pesticides dans l'air de 50 zones rurales et péri-urbaines situées à bonne distance des premiers champs traités afin de capter le « bruit de fond » de la pollution par les pesticides. Ce travail, une première mondiale, révèle que 32 molécules de pesticides sont retrouvées dans l'air ambiant, à des teneurs très faibles. Le glyphosate a ainsi été décelé dans 56 % des mesures, de l'ordre de 0,025 nanogramme par mètre cube d'air. Un résultat attribué à l'extrême finesse des instruments de mesure pour détecter cet herbicide peu volatil. Tous ces produits présentent des risques de cancers, de mutation génétique,de toxicité de l'appareil reproductif et de perturbateur endocrinien pour l'homme à des doses bien plus élevées que celles retrouvées dans l'atmosphère, l'Anses estimant que selon ces résultats, il n'existe pas de risque sanitaire. L'Agence commence désormais une série d'études sur l'exposition des populations riveraines aux pesticides.

les *« alternatives d'usage courant sans impact économique majeur »* ne peuvent rivaliser avec l'herbicide dans la mesure où le système conventionnel est tout entier organisé autour de son usage. Paradoxalement, ce travail pointe donc la nécessité d'un bouleversement profond des techniques culturales majoritaires. Christian Huygues, directeur scientifique de l'Inrae, le dit lui-même puisque son organisme mène des études dans ses fermes expérimentales de nouvelles rotations de culture. *« Nous avons pu montrer notamment l'intérêt de l'allongement des assolements sur sept ans incluant des cultures de légumineuses. C'est central pour réduire d'au moins 80 % la dépendance aux phytosanitaires. »*

Désormais, le rapport est sur le bureau de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) qui rendra son avis dans les prochains mois. *« Nous allons nous retrouver avec trois cas de figure*, a expliqué Roger Genet, son directeur général lors d'une audition parlementaire en juillet. *Là où il y a une solution comme le labour, il y aura retrait et interdiction du glyphosate ; là où des difficultés persistent, nous imposerons une baisse de la consommation de 80 % ; et pour les impasses agronomiques, l'usage pourrait être prolongé. »* ■

Loïc Chauveau @Loïc_Chauveau

ÉPIDÉMIOLOGIE

Cancers : toujours pas d'expertise fiable

Le gouvernement d'Édouard Philippe avait demandé à l'Anses une expertise sur le potentiel cancérogène du glyphosate. L'agence a donc d'abord publié un cahier des charges de l'étude afin d'en poser le cadre scientifique puis lancé un appel d'offres international auprès de 250 universités et organismes de recherche. Las ! *« nous avons reçu seulement quatre réponses dont deux répondent à nos critères »*, regrette Roger Genet, le directeur général de l'Anses. En outre, dans l'un des consortiums figure l'un des auteurs du cahier des charges ! La candidature a donc été retoquée. Résultat : il n'y aura qu'une expertise financée par l'État, celle du Centre international de recherche sur le cancer (Circ)... qui a déjà conclu en 2015 à la probable oncogénécité du glyphosate. Les polémiques sont loin d'être éteintes.

DEMANDEZ LE PROGRAMME

David Abiker
18h00-19h00

NOUVELLE ÉMISSION

RADIO CLASSIQUE

et votre journée devient plus belle.

L'extraordinaire périple du thon rouge

Des chercheurs ont pu suivre cinq thons équipés de balises, dont un qui a nagé de la Méditerranée à la Norvège et au Canada avant de revenir à son point de départ.

Des pérégrinations du thon rouge de l'Atlantique Nord (*Thunnus thynnus*) — en dehors de sa présence en Méditerranée pour la reproduction en mai-juin —, les spécialistes ne savaient rien. C'est dire si les résultats de l'Ifremer publiés cet été sont éclairants. Des scientifiques ont réussi, pour la première fois, à suivre cinq thons adultes d'une envergure de plus de 1,20 m pour 200 kg grâce à des balises pendant dix mois. Qu'ont-ils observé ? L'un des poissons a, en moins d'un an, quitté la Méditerranée, nagé jusqu'en Norvège, bifurqué vers le Canada puis pris plein sud pour retraverser l'Atlantique et revenir en Méditerranée ! Les mesures de pression révèlent des plongées dans l'Atlantique à près de 1000 mètres, des descentes très brèves que les chercheurs ne s'expliquent pas.

Concernant l'itinéraire, le trajet initial vers le nord était attendu. C'est là en effet que se trouvent les bancs de maquereaux et anchois dont le thon se nourrit. Jusque dans les années 1960, avant que les effectifs ne diminuent fortement du fait de la surpêche, les pêcheurs norvégiens en faisaient une prise régulière. Les données ne permettent cependant pas encore de dire si ce voyage s'effectue en solitaire ou en groupe. Après le Canada, l'animal est descendu à proximité du golfe du Mexique où il existe une aire de reproduction. Faut-il en conclure que les thons de l'Atlantique Nord et ceux de la mer des Caraïbes ne constituent qu'une seule et même population ? Impossible à ce stade de l'affirmer. D'autant qu'un des poissons équipés n'est, lui, pas sorti de Méditerranée durant tout le temps de l'enregistrement ! Hypothèse des chercheurs : le thon ne se reproduirait pas tous les ans et passerait une année sur deux à s'alimenter et reprendre des forces.

Les pêcheurs vont collaborer à de nouvelles expériences

Pour obtenir ces résultats, les chercheurs ont utilisé une technique inédite. Le Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier (LIRMM) a mis au point un appareil qui mesure la température de l'eau, indique la latitude, la pression et donc la profondeur où nage l'animal. Si les balises se détachent du corps, elles remontent à la surface et envoient leurs informations aux satellites du réseau Argos, ce qui est arrivé pour trois des cinq balises. Les deux autres sont perdues. « *Ces premières observations ont été obtenues avec seulement trois individus, aussi nous espérons réitérer ce type d'expérience avec d'autres balises* », confie Tristan Royer, chercheur à l'Ifremer. Il pourra pour cela compter sur la collaboration des pêcheurs de Méditerranée.

Le succès de la réduction de l'effort de pêche, qui a permis un retour du thon en Méditerranée et une augmentation des quotas de capture (de 11 000 tonnes en 2010 à 32 000 tonnes en 2020), a en effet permis un rapprochement entre scientifiques et pêcheurs, qui ont tous besoin de mieux connaître la vie de l'espèce. ■

RICHARD HERRMANN / MINDEN PICTURES / BIOSPHOTO

Les données recueillies ne permettent pas de savoir si *Thunnus thynnus* voyage en solitaire ou en groupe.

Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

ROEL MAY ET AL

Le taux de mortalité des oiseaux a chuté de 70 % après l'application de peinture noire sur les pales des éoliennes (ici l'expérience menée à la centrale de Smola, en Norvège).

Des éoliennes noires pour protéger les oiseaux

Les volatiles perçoivent mieux un obstacle en mouvement devant eux s'il est de couleur sombre.

LES OISEAUX VOIENT mieux les pales des éoliennes peintes en noir. C'est la démonstration que vient de faire une équipe du Norwegian Institute for Nature Research (NINA) basé à Trondheim (Norvège). En 2006, elle a repeint en noir une pale sur trois d'un tiers des 48 éoliennes du parc de l'archipel de Smola, dans le centre du pays. Puis pendant dix ans, au cours de plus de 10 000 visites et aidés de chiens, les chercheurs ont collecté les cadavres d'oiseaux hachés par des pales..

Les résultats de ces dix ans d'observation sont sans appel : les collisions avec les éoliennes peintes ont diminué en moyenne de 70 % par rapport avec celles restées totalement blanches. Ils s'expliquent par le fait que les oiseaux ont une vision latérale développée pour détecter les prédateurs ou trouver des proies mais une vision frontale étroite, si bien qu'ils perçoivent mal ou en retard un obstacle en mouvement devant eux. Le dispositif s'est avéré le plus efficace pour le pygargue à queue blanche (un aigle protégé en Norvège) mais des résultats probants ont été enregistrés pour les corneilles, les bécassines des marais ou un petit passereau, le pipit farlouse. Certains pylônes d'éoliennes avaient même été repeints afin que la démarche soit expérimentée sur le lagopède des saules, un membre de la famille des perdrix qui a la particularité de se fracasser sur les mâts. Avec succès puisque la mortalité a diminué de moitié.

Les chercheurs norvégiens ont ainsi testé en grandeur réelle une expérience menée en 2003 par le National Renewable Research Laboratory (NREL) américain. L'organisme avait prouvé en laboratoire l'efficacité de cette méthode. ■

Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

PAR CÉLINE GUIVARCH *
CHRONIQUE COÉCRITE AVEC CHRISTOPHE CASSOU**

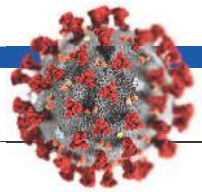
Les paradoxes apparents d'une année particulière

Nous vivons une année 2020 sous le signe de la crise sanitaire du Covid-19. Celle-ci a entraîné une baisse inédite des émissions de CO_2 — principal gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique —, évaluée à environ 8 % par rapport à 2019, soit 2,6 milliards de tonnes de CO_2 en moins. Pour autant, en mai, la concentration de CO_2 dans notre atmosphère a atteint le niveau record de 417 parties par million. Baisse record des émissions, pic record des concentrations et année 2020 sur le podium des années les plus chaudes depuis 1850 : un paradoxe ? Non. Le pompage de l'excès de CO_2 atmosphérique par les puits de carbone (océan, biosphère continentale, sols) est insuffisant pour « recycler » la totalité du CO_2 émis par les activités humaines. Ainsi, l'atmosphère accumule année après année du CO_2, dont l'influence se traduira sur plusieurs siècles. Tant que les émissions ne seront pas égales à zéro, la concentration dans l'atmosphère augmentera et le réchauffement climatique se poursuivra. Pour le stabiliser, le bilan « CO_2 émis - CO_2 pompé », dit émissions nettes, doit donc tendre vers zéro : c'est la neutralité CO_2. Pour limiter le réchauffement global à +1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle, sachant que l'on a déjà gagné aujourd'hui environ +1,2 °C, la neutralité CO_2 doit impérativement être atteinte d'ici à 30 ans ; et d'ici 50 ans, pour limiter à +2 °C. Il faudrait donc chaque année une baisse des émissions du même ordre que celle que nous connaissons en 2020. Mais une pandémie est une triste et inacceptable façon de réduire nos émissions, considérant les bouleversements et souffrances qu'elle engendre. À l'inverse, c'est en isolant nos bâtiments, réorganisant nos villes, stoppant la déforestation, que nous les réduiront. Trente ans, c'est court pour une telle révolution. Les relances post-Covid nous y aideront-elles ? L'urgence climatique est là. ■

> « La crise sanitaire du Covid-19 a entraîné une baisse inédite des émissions de CO_2 »

A. BILLET

* Directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.
** Directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec, groupe 1.



Covid-19 : les espoirs face à la deuxième vague

En attendant la mise au point d'un vaccin fiable, chercheurs et médecins semblent mieux armés pour affronter la reprise de l'épidémie : pour protéger les populations, pour soigner les malades et sauver les patients hospitalisés.

Par Camille Gaubert, Hugo Jalinière, Coralie Lemke, Mathieu Nowak

« CELA VA DEVENIR PLUS DUR. *En octobre, en novembre, nous allons avoir une mortalité plus élevée.* » L'avertissement lancé le 14 septembre par Hans Kluge, le directeur de la branche européenne de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) est on ne peut plus clair. La veille, le chancelier autrichien Sebastian Kurz affirmait que son pays connaissait *« le début d'une seconde vague »*, devenant ainsi le premier responsable à utiliser ce terme au présent et sans conditionnel. Mais dans les faits, cette deuxième vague ne faisait plus vraiment de doute, Israël ayant même décidé un nouveau confinement de trois semaines à partir du 18 septembre. En réalité, le virus n'a jamais cessé de circuler, y compris en France bien sûr. Entre le 3 juillet et le 22 août, le nombre de cas positifs a été multiplié par huit alors que le nombre de tests n'était multiplié que par trois. Pourtant, la situation est très différente de celle du printemps dernier, en raison notamment des efforts sans précédent déployés par les chercheurs pour comprendre comment se protéger de la maladie et soigner ceux qui l'ont contractée. En attendant la mise au point d'un vaccin fiable qui ne devrait pas être commercialisé avant 2021. Explications.

CDC/PHANIE

MAYANK MAKHIJA/NURPHOTO/AFP

L'analyse antigénique repère les protéines spécifiques du virus et délivre un résultat en 15 à 20 minutes.

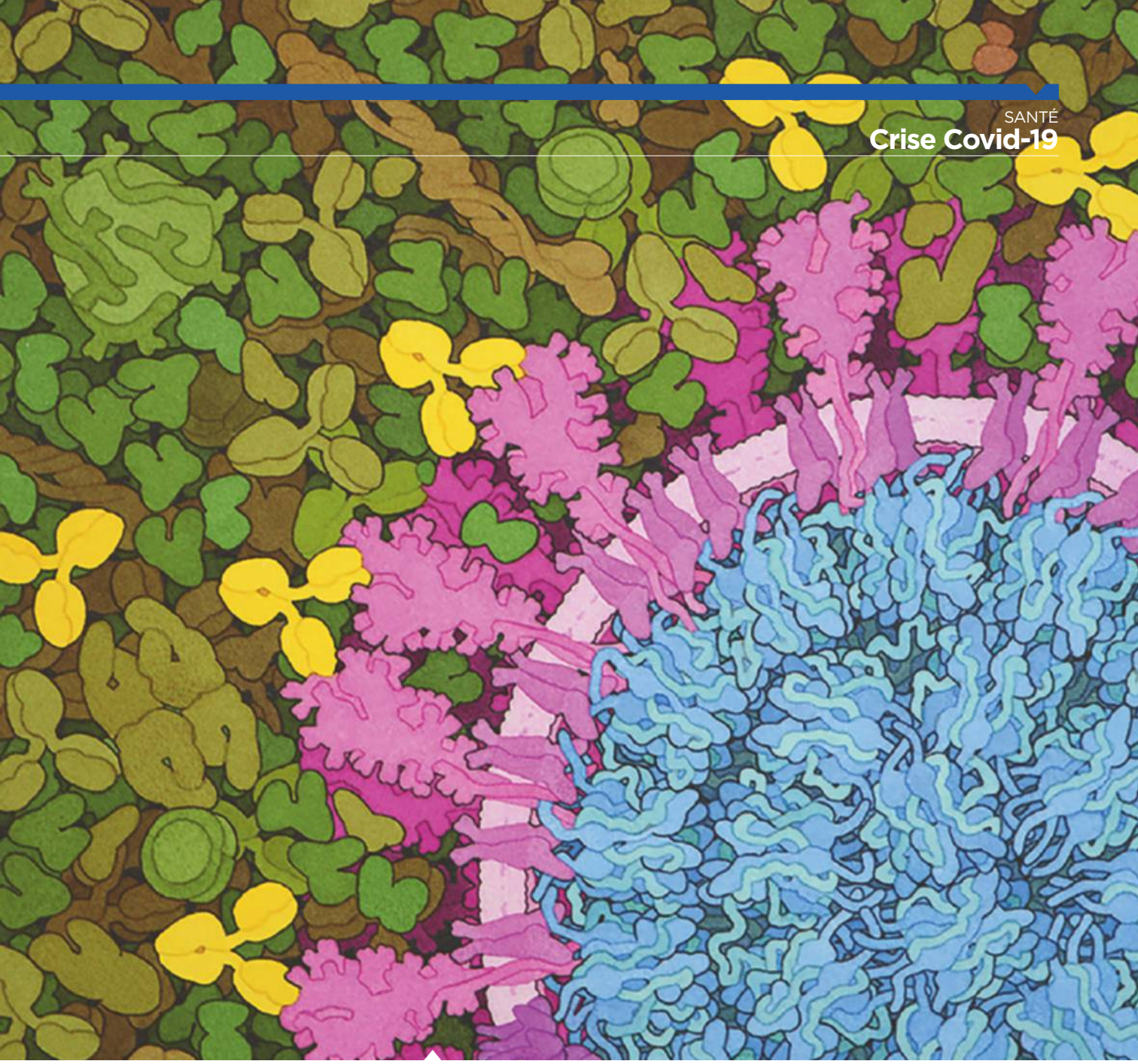
1 Protéger : masques et tests pour limiter la propagation du virus

« Nous devons apprendre à vivre le virus », a acté le Premier ministre Jean Castex le 11 septembre. Pour éviter que les nouvelles contaminations ne débordent les hôpitaux, la doctrine consiste, depuis le mois de mai, à dépister, tracer et isoler. Mi-septembre, plus de 850 clusters étaient ainsi en cours d'investigation. Problème, avec plus d'un million de tests RT-PCR réalisés par semaine en France, les laboratoires sont arrivés à saturation en septembre. Ce qui a entraîné des lenteurs pour se faire tester et des délais de rendu des résultats peu compatibles avec la réactivité qu'exige cette stratégie. C'est pour contrer cet écueil que l'analyse antigénique des prélèvements a commencé à être déployée le 9 septembre. Cette technique — légèrement moins sensible donc moins fiable — identifie non le génome du virus (RT-PCR) mais ses protéines spécifiques. Le résultat est

RÉINFECTION

L'immunité, la grande inconnue

Lorsqu'un Hongkongais a été diagnostiqué positif au Covid-19 en août plusieurs mois après avoir été déclaré guéri, Akiko Iwasaki (université Yale, États-Unis) s'est réjoui paradoxalement dans la revue *Nature* : *« C'est un cas d'école de comment la réponse immunitaire doit fonctionner. »*
C'est que le patient ne présentait, cette fois, pas de symptôme grave. Signe que son système immunitaire, après avoir été confronté à un premier virus, avait appris à se défendre contre une autre souche. Mais une semaine plus tard, un jeune Américain de 25 ans était également victime d'une réinfection, deux mois après la première, présentant, lui, des symptômes sévères. Impossible pour l'instant de conclure combien de temps persiste l'immunité à partir de deux exemples seulement. Les médecins ont établi qu'elle dure de un à trois ans en moyenne avec les autres coronavirus. M. N.



DAVID S. GOODSELL

Coupe transversale d'une particule de Sras-CoV-2 avec sa membrane (rose) et l'information génétique (bleu), entourées de plasma sanguin (vert), avec des anticorps neutralisants (jaune). Illustration réalisée à partir d'observations par microscopie cryoélectronique.

livré en quinze à vingt minutes. Enfin, l'autorisation des prélèvements salivaires, plus simples à effectuer que l'écouvillonnage du nasopharynx, devrait permettre de désengorger les files d'attente.

L'autre arme, ce sont les masques, première barrière entre les particules virales et leur voie d'entrée principale dans l'organisme : les cellules olfactives du nez. Fin août, des chercheurs américains ont en effet montré que ce sont elles qui expriment le plus le récepteur ACE2, la « clé » dont se sert le virus pour pénétrer les cellules. Ce qui expliquerait pourquoi la perte de l'odorat et du goût compte parmi les symptômes caractéristiques de l'infection. Un masque porté sous le nez n'offre donc aucune protection : si le virus est surtout excrété par la bouche, c'est par le nez qu'il entre. Cela a donné l'idée à des chercheurs du CNRS de développer un spray nasal délivrant une molécule-leurre. Cette dernière reproduit le récepteur ACE2, sur lequel se fixe alors le virus plutôt que sur les cellules.. Un « masque chimique » en quelque sorte, qui reste à tester.

2 Vacciner : multiples stratégies pour parvenir à l'immunité collective

Sans prétendre qu'il conduira à la fin de l'épidémie, le vaccin constitue la piste la plus sûre pour accéder à une « immunité collective » à même de ralentir la progression du virus. Les laboratoires misent sur trois stratégies principales.

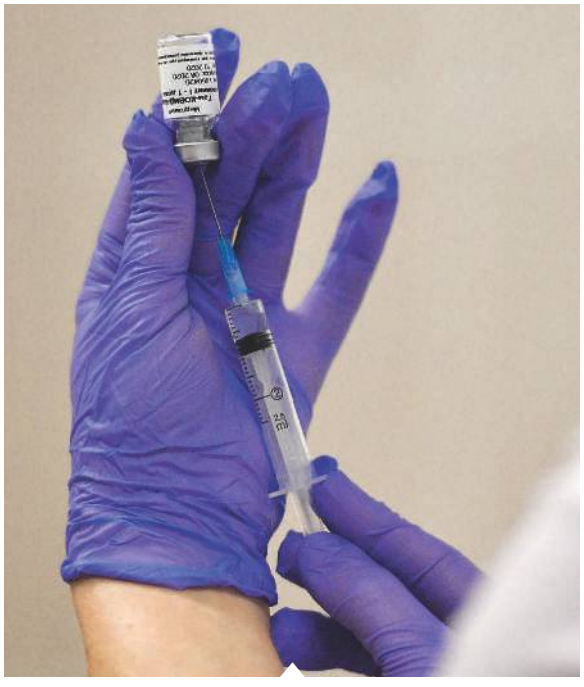
Toutes donnent lieu aujourd'hui à des essais cliniques de phase 3, la dernière étape de leur développement avant mise en production à grande échelle.

Première stratégie : les vaccins fondés sur des vecteurs à adénovirus. Il s'agit de virus modifiés pour devenir inoffensifs, qui apportent l'information génétique pour produire une protéine du virus dans l'organisme afin que celui-ci apprenne à se défendre. Cette stratégie a été adoptée par le laboratoire belge Janssen et par la Russie avec Spoutnik V, qui est testé en phase 3 depuis le 9 septembre sur 40 000 Moscovites. Deux études publiées dans la revue *The Lancet*, suggèrent — en dépit d'un faible nombre de participants — que ce vaccin entraîne une réponse immunitaire forte sans effets secondaires majeurs.

Deuxième approche : les vaccins à ARN. Ceux-là sont chargés de faire produire à l'organisme la protéine virale contre laquelle les cellules immunitaires réagissent. C'est une stratégie inédite dans l'histoire de la vaccination, qui a été adoptée par deux laboratoires américains, Pfizer et Moderna. Les deux mènent aujourd'hui des essais de phase 3.

La troisième option consiste à utiliser un vaccin inactivé, qui contient du Sras-CoV-2 altéré. L'objectif est toujours de faire réagir l'organisme. Cette méthode, nécessitant des rappels sur le long terme, a été retenue par le laboratoire China National Biotec Group (CNBG). Alors que des évaluations en phase 3 sont en cours, la Chine aurait déjà administré trois vaccins de ce type à ce stade de développement à plus de 100 000 personnes, deux étant développés par CNBG, le troisième par Sinovac.

Au moment où nous écrivons ces lignes, l'OMS recense 35 candidats vaccins évalués dans des essais cliniques sur l'humain à travers le monde. Parmi eux, neuf ont atteint la phase 3. Ces études vont durer encore plusieurs mois. Aussi l'OMS n'envisage pas de vaccination généralisée avant la mi-2021. Une échéance qui peut être remise en question à chaque instant comme en témoigne l'interruption durant quelques jours des essais du groupe pharmaceutique britannique AstraZeneca (qui portent sur 30 000 personnes aux États-Unis) à la suite de l'apparition d'une « *maladie potentiellement inexpliquée* » chez un participant.



VLADIMIR PESNYA / SPUTNIK / AFP

Le vaccin russe Spoutnik V, fondé sur deux vecteurs à adénovirus, est actuellement testé sur 40 000 personnes.

SUR LE WEB

« On peut détruire le virus avec du plasma froid »

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

Retrouvez sur notre site l'interview d'Anne Op de Beeck, virologue à l'Université libre de Bruxelles (Belgique) et au CNRS. Une arme pour détruire les molécules virales : voilà l'idée développée par une équipe franco-belge. Cette arme, c'est un plasma froid, obtenu en ionisant un gaz — par exemple l'air ambiant — par une source électrique.
En se débarrassant de leur surplus d'énergie, les radicaux libres produits détruisent les molécules virales. Mieux : des surfaces métalliques traitées avec ce plasma froid pourraient devenir virucides. sciav.fr/884plasma

L'actualité du Covid-19 sur le site de Sciences et Avenir : sciav.fr/Covid-19

3 Soigner : exploiter l'immunité des personnes guéries

Un triste consensus s'est dégagé lors des 21es Journées nationales d'infectiologie qui se sont tenues à Poitiers du 9 au 11 septembre : il n'existe toujours pas de traitement antiviral ayant démontré son efficacité contre le Covid-19, l'hydroxychloroquine n'ayant jamais fait la preuve d'un bénéfice clinique significatif pour les patients. En Chine — premier pays à avoir envisagé son utilisation en février —, elle est désormais considérée sans intérêt, et selon les autorités sanitaires du pays, elle est potentiellement toxique. L'association des antiviraux lopinavir et ritonavir utilisée contre le VIH ne fait pas mieux. Le vaste essai clinique britannique Recovery a démontré son inefficacité et stoppé son utilisation. Quant au remdesivir, l'antiviral développé par l'américain Gilead, il ne présenterait qu'un bénéfice modeste dans le meilleur des cas.

Tout espoir n'est pas perdu. La revue *Nature* a publié mi-septembre une étude de l'Icahn School of Medicine at Mount Sinai (New York, États-Unis) confirmant l'intérêt de la transfusion de plasma sanguin de personnes guéries pour traiter la maladie. C'est en effet dans cette partie du sang que se trouvent les anticorps spécifiques au Sras-Cov-2

BASTIEN DOUDAINE / HANS LUCAS

L'administration de dexaméthasone, un corticoïde, a permis de réduire la mortalité d'un tiers chez les personnes intubées, selon les résultats de l'essai Recovery.

développés par le système immunitaire des convalescents. De nombreux laboratoires dans le monde cherchent ainsi à identifier les anticorps les plus neutralisants pour ensuite les cultiver *in vitro*. Certains de ces anticorps dits monoclonaux font déjà l'objet d'essais de phase 3 conduits notamment par les laboratoires AstraZeneca ou GSK. Chères à produire, ces molécules seraient les premières spécifiquement mises au point contre le coronavirus. « *Elles risquent d'intervenir rapidement et vont faire la différence* », estimait le 15 septembre Bill Gates, le fondateur de Microsoft, dont la fondation soutient la recherche. Elles pourraient en effet être utilisées chez les personnes à risque, en prévention ou en première intention, pour empêcher l'infection de se développer.

4 Sauver : les corticoïdes, efficaces en réanimation

« *Le taux de mortalité a diminué de 50 % chez les patients hospitalisés entre le début de l'épidémie et fin juin* », a indiqué le Pr Yazdan Yazdanpanah, chef du service des maladies infectieuses et tropicales de l'hôpital Bichat, à Paris, et membre du conseil scientifique, lors des Journées nationales d'infectiologie en septembre. Et c'est en grande partie grâce aux corticoïdes dont l'OMS a d'ailleurs recommandé début septembre l'« *utilisation systématique chez les patients atteints d'une forme sévère* ». Un peu moins d'un tiers des hospitalisés voient leur système immunitaire s'emballer et s'attaquer aux cellules tapissant les vaisseaux sanguins : c'est la tempête cytokinique, mortelle. Les médecins n'ont alors plus qu'un seul objectif, sauver le patient. La recherche a confirmé l'efficacité des anti-inflammatoires qui, utilisés plus tôt, freinent la lutte de l'organisme contre la maladie. Publiés dans le *New England Journal of Medicine*, les premiers résultats de l'essai britannique Recovery, démarré en mars sur plus de 11 500 malades, ont ainsi désigné la dexaméthasone comme le premier médicament à même de sauver des patients du Covid-19. Cet anti-inflammatoire de la famille des corticoïdes, disponible à prix modéré dans le monde entier, a diminué la mortalité d'un tiers (-36 %) chez les malades intubés, et d'un cinquième (-18 %) chez ceux sous oxygène sans intubation. Plus le patient était touché par la maladie, plus le traitement était efficace. ■

UNE SÉRIE DE BLOCS PRÉFABRIQUÉS à niveau unique disposés autour du mât central compose l'hélice intérieure. Ils sont reliés aux espaces centraux par des couloirs et peuvent supporter des panneaux solaires.
UN MÂT constitué de poutrelles de métal dessert des espaces centraux dédiés aux zones communes et de circulation. Ces derniers conduisent aux blocs de la première hélice. Toute la structure est rigidifiée par des câbles.

D.LEE, GAVIN SHEN, WEIYUAN XU, XINHAO YUAN - WWW.EVOLO.US

L'HÉLICE EXTÉRIEURE est formée de blocs verticaux de quatre étages aux façades extérieures vitrées. Ceux-ci hébergent divers services en fonction des besoins. Ces blocs sont accrochés à la tour par des structures métalliques en X.

Un projet audacieux d'hôpital en kit

Imaginé par quatre architectes chinois, ce projet de tour modulaire qui s'agrandit rapidement selon les besoins sanitaires, a été récompensé par le magazine d'architecture « eVolo ».

Un hôpital modulaire qui peut être monté en cinq jours et accueillir 1600 patients dans 800 pavillons différents : voilà la proposition de l'Epidemic Babel. Cette tour faite de blocs préfabriqués montés sur un mécano de poutres d'acier a été imaginée par quatre architectes chinois. Leur projet a remporté le concours 2020 du magazine d'architecture et de design américain *eVolo* consacré aux réponses à des situations d'urgence (sanitaire, climatique, écologique...).

En cas d'épidémie, comme celle du Covid-19, ce concept d'hôpital modulaire offre l'avantage de pouvoir être agrandi en fonction des besoins et au rythme de la crise sanitaire. Le choix d'une tour permet de limiter l'emprise au sol, surtout dans les zones urbaines. Epidemic Babel n'a cependant pas vocation à remplacer les établissements de soins classiques : selon les architectes, il s'agit d'une structure d'appoint, uniquement destinée à répondre ponctuellement à une urgence locale, avant d'être démontée et redéployée ailleurs si nécessaire.

Le bâtiment — dont les caractéristiques techniques exactes n'ont pas été encore arrêtées — est pensé comme une double hélice. Sont fixés sur le mât central les services administratifs, l'alimentation en eau et électricité et les zones de circulation. Ces premières « boîtes » desservent les pavillons constituant l'hélice intérieure : chambres, espaces médicaux, salles d'attente, etc. Autour, une seconde hélice se compose de plusieurs autres pavillons à usage médical fixés à une armature métallique. ■

Arnaud Devillard
@A_Devila

SITUATIONS D'URGENCE

Un bâtiment fonctionnel en cinq jours

Jour 1 Le mât de poutres métalliques est érigé et le raccordement à l'électricité est fait.

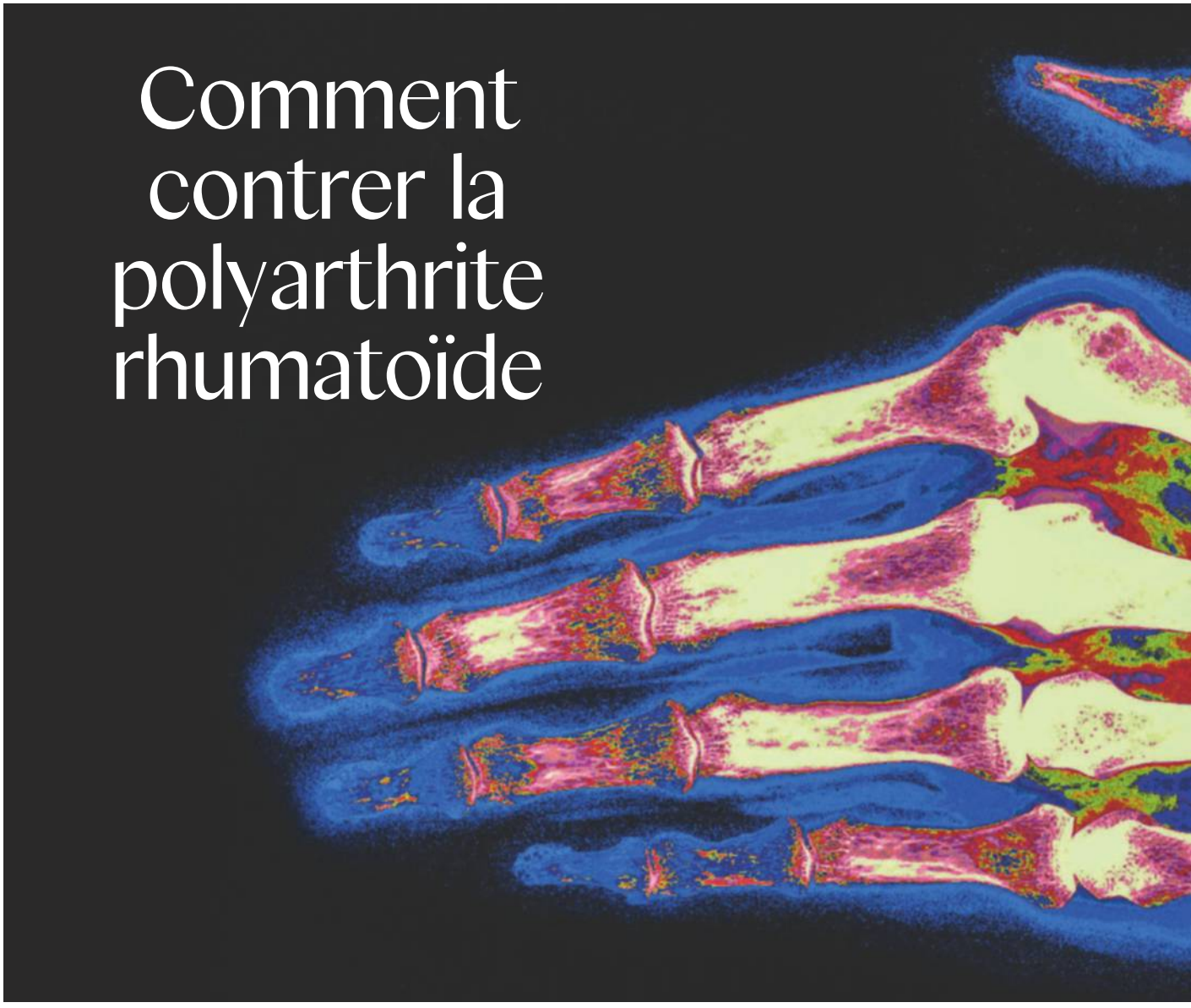
Jour 2 Les éléments centraux sont assemblés sur le mât, préfabriqués et amenés sur place prêts à l'emploi.

Jour 3 Les pavillons de l'hélice intérieure sont mis en place, l'hôpital peut déjà accueillir 200 patients.

Jour 4 La structure principale et les modules de la première hélice sont prêts, avec l'eau et le système d'aération.

Jour 5 Les blocs préfabriqués de la deuxième hélice sont fixés à la tour, puis équipés en matériel médical.

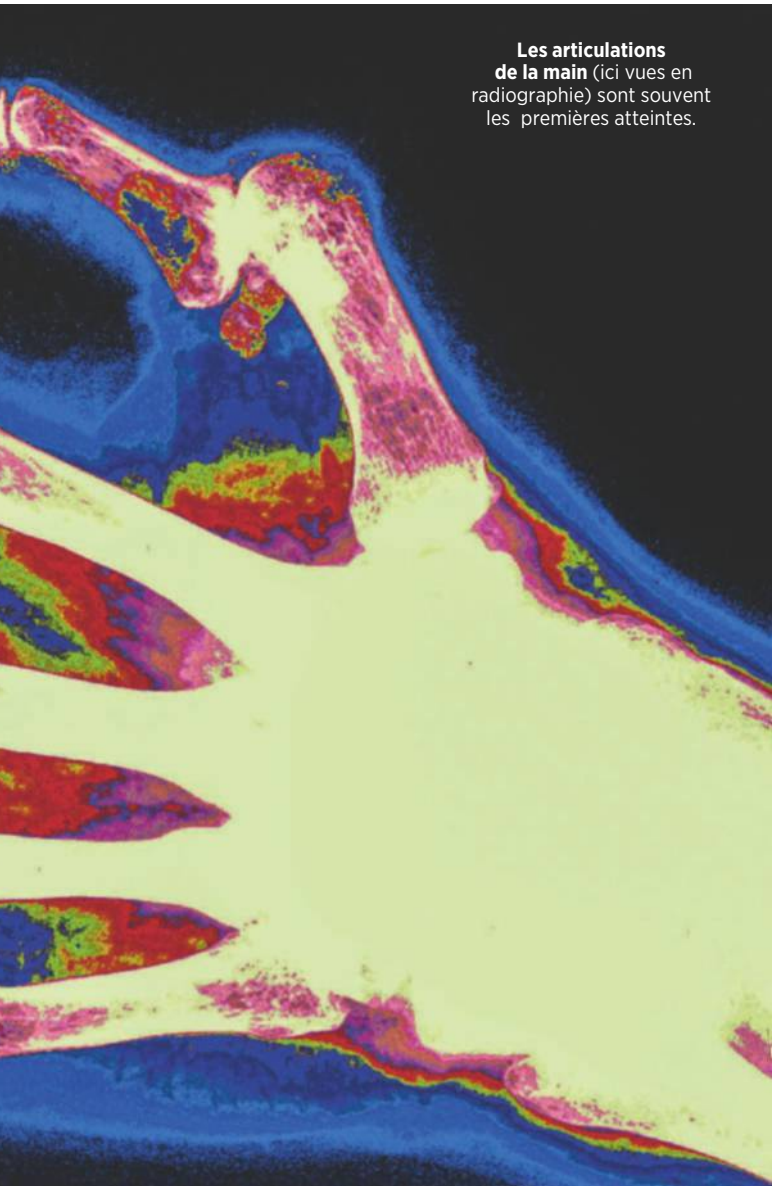
Comment contrer la polyarthrite rhumatoïde



VOISIN/PHANIE

Face au rhumatisme inflammatoire le plus fréquent, des pistes de recherche visant à empêcher le développement de la maladie sont à l'étude.

Se « vacciner » contre la polyarthrite rhumatoïde (PR) en injectant ses propres cellules modifiées avant que ce rhumatisme articulaire, le plus fréquent, ne se développe ? Ou analyser le microbiote pour choisir le traitement le mieux adapté ? Telles sont les nouvelles pistes explorées par les chercheurs pour tenter de contrer cette maladie auto-immune complexe dont la journée mondiale de sensibilisation a lieu le 12 octobre. Face à cette affection mêlant génétique et facteurs environnementaux (tabac, pollution…), connue notamment pour les déformations qu'elle occasionne au niveau des mains, ces approches sont porteuses d'espoir. Car, pour l'heure, les spécialistes ne savent toujours pas avec précision à quel moment et pour



Les articulations de la main (ici vues en radiographie) sont souvent les premières atteintes.

quelles raisons le système immunitaire d'un malade atteint se met à dysfonctionner jusqu'à détruire peu à peu ses articulations *(voir l'infographie p. 76)*.

La première approche innovante consisterait à « étouffer » le plus tôt possible l'inflammation qui couve à bas bruit dans l'organisme, cinq à dix ans avant que ne surviennent les symptômes, et ce afin d'éviter l'emballement qui devient vite irréversible du système immunitaire et conduit à une maladie chronique. Les spécialistes voudraient ainsi par exemple démontrer l'intérêt d'une action précoce, avant que la complexe cascade de l'inflammation ne s'emballe et ne devienne totalement incontrôlable. Pour les patients, tout commence toujours, au moment des poussées par des douleurs plus ou moins sévères et des gonflements des articulations, autant de signes des phases actives de la maladie qui alternent avec des phases de rémission. Certes, ces dernières sont heureusement de plus en plus fréquemment obtenues, dans environ 60 % des cas, grâce aux traitements disponibles. « *Le profil des PR a de ce fait radicalement changé* », détaille le Pr René-Marc Flipo, rhumatologue à Lille. Ainsi, les malades ne voient quasi plus aujourd'hui leurs mains se déformer ou leurs articulations se détruire entièrement. La molécule de référence, le méthotrexate, reste toujours le traitement de première intention mais apparaît insuffisante dans 30 % des cas. Elle a pu être complétée par de nombreuses autres molécules, toutes dirigées contre des cibles très spécifiques de l'inflammation : anti-TNF alpha, anti-IL6, anti-CDL4A et des inhibiteurs de JAK, la toute dernière génération. « *Nous appliquons la stratégie du "treat to target"*, explique René-Marc Flipo. *Elle consiste à rajouter ces molécules au méthotrexate jusqu'à l'obtention d'une rémission, c'est-à-dire la disparition des douleurs.* »

Las ! la polyarthrite ne se guérit toujours pas. D'où l'idée que tout pourrait se jouer dans les cinq à dix ans avant l'apparition des premiers signes cliniques, à l'instar de ce qui se produit dans cer-

CLINIQUE

Un indice pour évaluer l'activité de la maladie

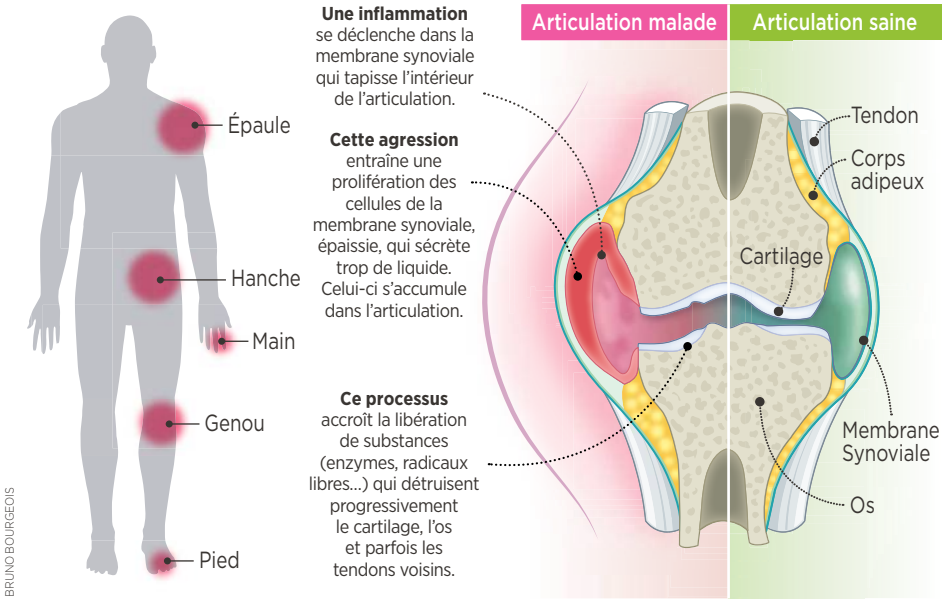
C'est un outil pratique qui permet d'évaluer le score d'activité de la polyarthrite rhumatoïde. Le DAS 28 (Disease Activity Score) se calcule en ligne avec son médecin à partir de plusieurs informations : celles exprimées par le patient (type de douleur, réveil nocturne, durée de la raideur matinale), celles retrouvées par le rhumatologue lors des examens clinique (nombre d'articulations douloureuses, gonflées…), biologique et radiologique. Objectif : faire en sorte que ce DAS reste inférieur à 3. Très utile, il se calcule à chaque consultation et permet d'évaluer et de comparer l'activité de la maladie chez une même personne à des moments distincts, par exemple avant et après la mise en route d'un nouveau traitement.

200 000
patients,
soit 0,3 à 0,8 % de la population adulte, sont concernés en France.

3
femmes touchées
pour un homme.

Entre 40 et 50 ans
l'âge moyen au moment du diagnostic.

De l'inflammation à la destruction de l'articulation


Épaule
Hanche
Main
Genou
Pied
Une inflammation se déclenche dans la membrane synoviale qui tapisse l'intérieur de l'articulation.
Cette agression entraîne une prolifération des cellules de la membrane synoviale, épaissie, qui sécrète trop de liquide. Celui-ci s'accumule dans l'articulation.
Ce processus accroît la libération de substances (enzymes, radicaux libres…) qui détruisent progressivement le cartilage, l'os et parfois les tendons voisins.
Articulation malade
Articulation saine
Tendon
Corps adipeux
Cartilage
Membrane Synoviale
Os

BRUNO BOURGEOIS

La maladie débute par une inflammation auto-immune, c'est-à-dire due à un dérèglement du système immunitaire du patient qui produit en excès des lymphocytes T, principales cellules de l'immunité.

taines affections neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson…). De quoi rechercher comment ralentir son apparition, sinon la prévenir. « *C'est tout l'enjeu du récent concept dit de pré-PR*, poursuit le rhumatologue. *Nous avons établi qu'il existe une phase de désordre général auto-immune plusieurs années avant les douleurs, laps de temps pendant lequel nous pourrions peut-être intervenir.* »

Les chercheurs ont établi le rôle franchement délétère de certains anticorps produits par l'organisme, les anti-peptides citrullinés (ACPA). Présents dans le sang, ils sont un marqueur d'une polyarthrite sévère et agressive car ils activent les nombreuses cellules impliquées dans la destruction osseuse. Pourtant, il existe des formes graves de cette affection sans ACPA… et toutes les polyarthrites avec ACPA positifs ne sont pas sévères ! Une piste serait de rendre en quelque sorte les patients plus « tolérants » et par conséquent moins sensibles à leur action destructrice. « *Des travaux australiens à l'université de Queensland explorent actuellement cette hypothèse* », détaille la Dr Claire Daien, rhumatologue au CHU de Montpellier. Les chercheurs ont prélevé du sang chez des patients ACPA positifs et ont ensuite isolé des cellules particulières de leur système immunitaire, dites dendritiques,. Ces cellules capables d'exprimer à leur surface un antigène, ici les ACPA, ont alors été réinjectées à ces mêmes patients après avoir été modifiées pour qu'elles envoient un signal cette fois anti inflammatoire au reste du système immunitaire. Reste à démontrer que la maladie progressera moins vite dans ce groupe. Une approche séduisante mais qui n'a encore été l'objet que d'essais préliminaires et devra donc être confirmée. « *D'autres équipes ont aussi tenté une procédure similaire, conduite cette fois chez les souris, permettant aux rongeurs ainsi "vaccinés" de développer moins d'arthrite. Là encore, reste à savoir si de tels résultats seront un jour applicables à l'humain* », poursuit la rhumatologue.

Le rôle délétère de certains anticorps

En attendant, d'autres travaux de prévention sont en cours. Ainsi, en 2018, une solide étude internationale publiée dans *Annals of the Rheumatic Diseases* a montré qu'il était possible de retarder d'un an l'apparition des signes cliniques de la maladie grâce à l'administration d'un anticorps ciblé, le rituximab. Mais l'étude s'est intéressée à un groupe particulier : des personnes à haut risque de développer une PR chez lesquelles aucun signe clinique de la maladie n'était encore présent mais chez qui des ACPA avaient été retrouvés. Difficile en pratique d'envisager de traiter ainsi sur le long terme de vastes groupes de population sans savoir qui va ou non développer une forme sévère…

Plutôt qu'un traitement pharmacologique au long cours, pourquoi ne pas miser sur le microbiote intestinal par le biais de l'alimentation ? Cordonnée par la Dr Claire Daien, l'étude

POUR EN SAVOIR PLUS

- L'AFPric, association de patients : **sciav.fr/884AFPric**
- L'Andar, Association nationale de défense contre la PR : **sciav.fr/884Andar**
- Un petit livret de L'AFPric à destination aidants : **sciav.fr/884AidePR**
- Un article complet de l'Inserm sur la maladie : **sciav.fr/884InsermPR**

CLAIRE DAIEN

« L'analyse du microbiote intestinal pourrait permettre de prévoir la réponse aux médicaments »

Dr Claire Daien, membre de l'équipe médicale Immuno-rhumatologie de l'hôpital de Montpellier, coordinatrice de l'étude Superfibres.

ÉTHIOLOGIE

Des conséquences sur les poumons

Les poumons pourraient être les premières victimes de la polyarthrite rhumatoïde. Ce n'est encore qu'une hypothèse mais elle est très discutée. *« Une fois sur dix environ, une fibrose pulmonaire [épaississement des tissus] précède les lésions articulaires, et ce parfois de plusieurs années*, détaille le Pr Philippe Dieudé, rhumatologue à l'hôpital Bichat à Paris. *Dans environ dans 30 à 60 % des cas, il peut exister des anomalies purement radiologiques comme des nodules et dans 10 % des cas, on note des signes pulmonaires cliniques (toux, essoufflement).* » Ce spécialiste a participé à un travail collaboratif franco-américain paru dans la revue *The New England journal of Medicine* (2018), démontrant pour la première fois l'existence d'une anomalie génétique commune (sur le gène MUC5B) à la fibrose pulmonaire associée à la polyarthrite et à la fibrose dite idiopathique, c'est-à-dire sans autre cause retrouvée. Un pas important qui a accéléré la recherche dans ce domaine méconnu. Or, depuis cette publication, alors qu'aucun traitement spécifique contre la fibrose pulmonaire n'avait jamais été développé, deux molécules (pirfénidone, nintédanib) ont prouvé leur efficacité. *« Autant d'avancées qui devraient se traduire à terme par une meilleure prise en charge des patients, avec une surveillance régulière par scanner et l'accès à un traitement »*, estime Philippe Dieudé.

Superfibres, qui vient tout juste d'être lancée, vise à déterminer si une supplémentation en fibres chez des patients atteints de PR pourrait accroître la concentration dans le sang d'acides gras à chaînes courtes, dont l'action anti-inflammatoire a été démontrée. *« Nous avons tout juste inclus cet été le premier des 89 patients de l'étude*, détaille la spécialiste. *Le fait d'agir sur le microbiote est séduisant. La difficulté sera de savoir si les modifications que nous observerons seront une cause ou une conséquence »*, nuance-t-elle.

Des travaux américains menés par l'équipe du Dr Jose Scher, de l'université de New York (États-Unis), et présentés lors de congrès internationaux récents ont, eux, laissé entrevoir que l'analyse du microbiote intestinal permettrait de prédire la réponse au méthotrexate. Ainsi, des différences ont été retrouvées entre le microbiote de deux groupes de patients atteints de PR, l'un répondant au traitement de référence de la maladie, l'autre pas. *« Cela suggère que l'analyse du microbiote pourrait être utilisée comme un facteur prédictif de la réponse aux médicaments*, commente Claire Daien. *Nous démarrons de notre côté un autre travail (Maraja) auprès de 60 patients dans six centres en France concernant une autre molécule, les inhibiteurs de JAK.* » Résultat de ces deux études dans environ trente mois. ■

Sylvie Riou-Milliot

synergia®
Laboratoire de médecine nutritionnelle

Vos NUITS SEREINES
avec D-Stress® SOMMEIL

Agit dès le 1er comprimé !
Sans accoutumance

D-Stress® SOMMEIL est l'association unique de la formule mythique D-Stress® et d'Eschscholtzia californica (pavot de Californie).

L'**Eschscholtzia californica*** est la plante de référence pour **retrouver un sommeil profond et réparateur**.

Le **magnésium** et les **vitamines B1**, **B2**, **B3**, **B6**, **B8** participent au fonctionnement normal du système nerveux, contribuent au métabolisme énergétique et réduisent la fatigue.

La **vitamine B5** contribue à améliorer la résistance au stress et à retrouver des performances intellectuelles normales.

*Le pavot de Californie contribue à une relaxation optimale, améliore l'endormissement, réduit les réveils nocturnes, procure un sommeil réparateur et naturel. Le magnésium et les vitamines B2, B3, B5 et B6 contribuent à réduire la fatigue.

DEMANDEZ CONSEIL À VOTRE PHARMACIEN.
40 comprimés = 40 nuits sereines.
D-Stress® SOMMEIL 40 comprimés. Prix conseillé : 14 €, code 3760139290518.

Retrouvez et commandez nos offres sur **www.synergiashop.com**
Information consommateur au **04 77 42 30 10**

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE.
WWW.MANGERBOUGER.FR

La conception des organoïdes change de dimension

Les techniques d'élaboration de ces ébauches d'organes ont progressé ces dernières années. Deux exemples saisissants : un intestin humain fonctionnel et un sein imprimé à partir de cellules vivantes.

« Quand le protocole *n'était pas encore au point, je me souviens que nous avions essayé de faire de l'intestin… et avons obtenu du cartilage* », raconte encore amusé Maxime Mahé, spécialiste des cellules souches intestinales à l'Inserm TENS (The Enteric Nervous System in Gut and Brain Disorders) de Nantes. Aujourd'hui, après des années de travaux, le chercheur peut se réjouir d'avoir réussi à « fabriquer » un intestin humain fonctionnel. Même si pour le moment, cet « organoïde » [ébauche d'organe] n'est pas un tube mais une sphère de quelques centimètres de diamètre avec une cavité interne.

La genèse de cet intestin commence par des cellules souches dites pluripotentes induites (iPS), des cellules adultes reprogrammées pour fournir tous types cellulaires (peau, muscle…). *« Avec les iPS, il était déjà possible de faire de l'épithélium intestinal, c'est-à-dire le tissu directement en contact avec les aliments et le microbiote. Mais il manquait des couches vasculaires, musculaires et aussi les neurones. Sans neurones, il n'y a pas de réflexe péristaltique, ces contractions qui permettent de faire avancer les aliments dans le tube digestif durant la digestion* », explique le chercheur. Outre l'épithélium, les spécialistes ont aussi réussi à fabriquer des cellules musculaires et des fibroblastes à partir des iPS. Certains de ces fibroblastes jouent d'ailleurs un rôle important dans le renouvellement de l'épithélium digestif qui se régénère naturellement tous les 3 à 5 jours : elles produisent des molécules spécifiques (tels des facteurs de croissance) qui entretiennent ce mécanisme. À ce stade, l'équipe de Maxime Mahé a transplanté l'organoïde à proximité du tube digestif d'une souris. Et là, surprise ! la complexification est encore montée d'un cran grâce, selon l'hypothèse des chercheurs, à la vascularisation de l'hôte. *« Le sang est venu alimenter l'organoïde, l'amenant à former un organe quasi similaire à l'intestin humain avec toute sa diversité cellulaire. Par exemple, un muscle complet, une microvascularisation connectée au système vasculaire* », assure le scientifique. Mieux, le mini-intestin digère : il est capable d'absorber glucides, protéines et lipides injectés dans sa cavité interne. Les chercheurs sont allés encore plus loin dans la complexification. Ils ont créé des neurones à partir d'iPS, qu'ils ont cultivés séparément des autres tissus. *« Nous avons ensuite associé ces neurones à l'organoïde à un stade précoce de son développement. Et l'ensemble s'est auto-organisé ! Ce qui est extraordinaire. Les neurones ont colonisé l'organoïde, en s'installant à la périphérie comme dans l'intestin humain* », s'enthousiasme le chercheur.

1 à 2 mois
pour produire un sein bio-imprimé en 3D.

9 à 10 semaines
pour fabriquer un intestin.

LISA BROSSARD, MAXIME MAHÉ - INSERM

Généré à partir de cellules souches pluripotentes humaines, cet organoïde intestinal de quelques centimètres de diamètre est capable d'absorber les nutriments.

Deux grandes applications en ligne de mire

Mais s'il est désormais bien vascularisé, capable de se régénérer, de se contracter pour faire avancer les aliments et d'absorber les nutriments, il manque encore une composante essentielle à ce proto-intestin : un microbiote, indispensable au processus de digestion. C'est justement l'objet d'expériences en cours. Les biologistes nantais ont connecté l'intestin de la souris à l'organe transplanté pour qu'il soit colonisé par le microbiote du rongeur, avant de tester un microbiote humain. Ces travaux inédits visent deux grandes applications : la reconstruction ou régénération d'un tube digestif affecté par la

PHOTOS : ELISABETH RULL/DIVERGENCE POUR SCIENCES ET AVENIR

Les cellules graisseuses prélevées sur la patiente sont multipliées « in vitro » avant d'être placées dans une sorte de gel nutritif qui va servir à l'impression du sein.

maladie par exemple ; la constitution d'un modèle d'intestin réalisé à partir des cellules d'un patient pour évaluer des thérapeutiques et personnaliser ainsi son traitement. Reste aux chercheurs à savoir s'il est possible de se prémunir d'un risque non négligeable : celui dit d'un échappement de la différentiation qui voit les iPS s'orienter vers des cellules non souhaitées et former par exemple du cartilage… voire des cellules cancéreuses.

À Villeurbanne, près de Lyon, les biologistes de la plate-forme technologique 3d. FAB travaillent aussi sur la fabrication de tissus et d'organes, avec une approche très différente : la bio-impression. Ils sont

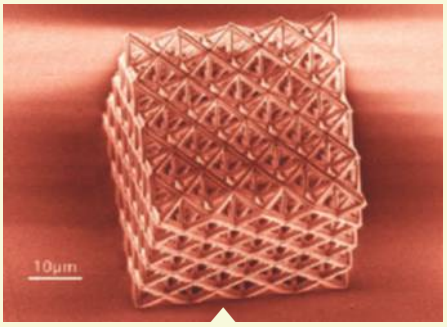
Une fois l'impression en 3D réalisée, les volumes obtenus (ici sein et mamelon) vont être cultivés « in vitro » afin de disposer d'un tissu bien structuré à même d'être implanté.

les seuls au monde à imprimer en 3D un sein de femme à partir de cellules vivantes. *« L'idée est de faire une prothèse autologue, c'est-à-dire à partir des cellules d'une patiente ayant subi une mastectomie, une ablation à la suite d'un cancer »*, précise Christophe Marquette, directeur de recherche CNRS, fondateur et coordinateur du 3d.FAB. Cette greffe autologue sous la peau écarte le risque de rejet et permet surtout une reconstruction définitive *« contrai-*

AMÉLIORATION DES TRAITEMENTS

L'impression 3D de haute précision

Avec une résolution d'un micromètre, les imprimantes 3D de la société française Microlight3D, installée près de Grenoble, ont la capacité de réaliser des structures à la fois reproductibles, fines et complexes. Avec les chercheurs du Laboratoire des matériaux et du génie physique de Grenoble et la société CTI Biotech à Lyon, l'entreprise travaille sur un projet d'impression d'un microsquelette sur lequel sont déposées des cellules tumorales prélevées chez un malade et cultivées *in vitro*. « *Nous cherchons à produire des microtumeurs sur lesquels on peut tester des thérapies. Par exemple, nous pourrions réaliser 100 microtumeurs identiques, donc comparables entre elles, pour tester 100 chimiothérapies, avec des dosages différents, afin de trouver celle qui sera la plus efficace pour le patient* », explique Denis Barbier, président et cofondateur de Microlight3D. Une technique révolutionnaire, mais qui selon Denis Barbier ne devrait pas arriver sur le marché avant une dizaine d'années.



F. MERCIER ET AL. - SIMAP (G-INP / UGA)

Sur cette microstructure imprimée en 3D, les chercheurs pourront cultiver les cellules tumorales des patients pour tester plusieurs chimiothérapies.

rement aux prothèses synthétiques qu'il faut remplacer par une chirurgie tous les dix à quinze ans », précise Sophie Brac de la Perrière, cofondatrice et présidente de Healshape, la start-up fondée en janvier sur les travaux du 3d. FAB. La technique exige d'abord une aspiration de graisse (lipoaspiration) sur la patiente. Ce « lipoaspirat » contient des cellules graisseuses (adipocytes), des cellules endothéliales qui forment la vascularisation et des fibroblastes. Toutes sont multipliées i*n vitro* avant d'être baignées dans une sorte de gel nutritif, l'ensemble constituant « l'encre » de l'imprimante 3D. La machine dépose cette encre en couches successives pour reproduire la forme exacte du sein tel qu'il a été modélisé préalablement sur la patiente. Ce volume est alors cultivé *in vitro*. En consommant le gel, les cellules se multiplient et le remplacent par de nouvelles cellules et une matrice extracellulaire composée essentiellement de collagène produit par les adipocytes. C'est cette matrice qui confère sa tenue mécanique au sein.

Au milieu de ce tissu bien structuré, les cellules endothéliales forment une microvascularisation qui, à terme, sera reliée au système vasculaire de la patiente grâce à une technique chirurgicale consistant à détourner une veine pour la faire passer dans l'implant. Le raccordement entre cette veine et la microvascularisation se fera ensuite tout seul.

E. RULL / DIVERGENCE POUR SAV

« Nous espérons une mise sur le marché en 2030 pour [la prothèse naturelle] du mamelon et en 2032 pour le sein »

Sophie Brac de la Perrière, cofondatrice et présidente de Healshape, Villeurbanne (Rhône)

Si ce tissu tend à s'auto-organiser naturellement, les chercheurs lui donnent un petit coup de pouce : en injectant des cocktails de molécules bien précis qui favorisent le développement.

Une technique complexe à mettre au point

Grâce aux travaux menés en collaboration avec l'armée sur l'impression de peau pour les grands brûlés, les chercheurs ont aussi développé une technique d'impression du mamelon. « *C'est une avancée importante car aujourd'hui, ce mamelon est reconstitué à partir de lambeaux de peau ou tatoué sur le sein. Le résultat n'est pas toujours satisfaisant* », explique Sophie Brac de la Perrière. Cette technique d'impression a été complexe à mettre au point. « *Le mamelon doit être suturé sur le sein. Il doit donc avoir une excellente résistance mécanique pour que le chirurgien puisse y passer du fil et faire des nœuds sans qu'il se déchire* », détaille Christophe Marquette. Autre problème : il est composé de deux tissus, le derme et l'épiderme, qui ne peuvent être imprimés ensemble. « *Les cellules du derme sont englées dans une matrice extracellulaire, alors que celles de l'épiderme sont hors matrice. Il faut donc les imprimer et les cultiver séparément pour ensuite les associer. Nous ajoutons aussi des mélanocytes, c'est-à-dire des cellules pigmentées, pour donner la coloration propre au mamelon* », poursuit le chercheur. Ces prothèses naturelles doivent encore subir le long parcours des essais menant à une autorisation de mise sur le marché. « *Les essais précliniques commencent en 2021. Le début des essais cliniques est prévu pour 2023 et nous espérons une mise sur le marché en 2030 pour le mamelon et 2032 pour le sein* », explique Sophie Brac de la Perrière. Une attente longue mais nécessaire pour s'assurer de l'innocuité de ce nouvel implant. ■

Olivier Hertel @OlivierHertel

Rien ne sert d'être détestable pour arriver au pouvoir

Une large étude américaine tente de répondre à cette question : pouvoir et mauvais caractère sont-ils fatalement liés ?

FAUT-IL MAL SE COMPORTER POUR ACCÉDER au pouvoir ? Non ! J.-R. (*Dallas*) ou Miranda Priestly (*Le diable s'habille en Prada*), archétypes de patrons détestables, n'ont plus qu'à raccrocher les gants. Telle est la conclusion d'une étude très sérieuse publiée dans les *Comptes-rendus de l'académie des sciences américaine* (*PNAS*) par Cameron Anderson et son équipe du Personnality Lab à l'université de Californie à Berkeley (États-Unis). « *Le fait d'être désagréable est un aspect relativement stable de la personnalité qui implique la tendance à se comporter de manière querelleuse, froide, insensible et égoïste* », précisent les auteurs. Et le pouvoir ? C'est « *la capacité d'influencer les autres en fournissant ou en retenant des ressources ou en infligeant des punitions.* » La question : pouvoir et tendance à être désagréable sont-ils nécessairement liés ?

Deux types de comportements aux effets contraires

Pour en avoir le cœur net, les scientifiques ont pris comme « cobayes » 457 jeunes filles et garçons, achevant leurs études en management. Ils leur ont fait passer un test de personnalité appelé « Big Five Inventory », que l'on pourrait traduire par « inventaire des cinq grands facteurs de personnalité ». Cet examen évalue l'ouverture (apprécier les nouvelles expériences), la « consciencieusité » (conscience morale, respect...), l'extraversion (puiser son énergie dans l'interaction avec les autres), le neuroticisme (contraire de stabilité émotionnelle) et l'« agréabilité » (tendance à être compatissant et coopératif). Quatorze ans plus tard en moyenne, ces travailleurs ont été recontactés pour établir leur niveau de pouvoir, défini comme « *leur contrôle sur leurs subordonnés et leur rang dans la hiérarchie de leur organisation* ». Les chercheurs ont alors observé que, sans conteste, l'extraversion des personnes, mesurée à la sortie des études, prédit le pouvoir des participants une décennie plus tard. Mais *a contrario*, un très faible score d'agréabilité ne prédit en rien du pouvoir acquis dans le futur !

L'explication ? Un examen attentif des comportements sur le lieu de travail a révélé que les individus désagréables adoptaient deux types de comportements aux effets contraires. En étant désagréable (domination, agressivité) le manager accroît son pouvoir d'un côté, mais en étant peu collaboratif et distant il le diminue de l'autre. Les deux comportements s'annulent. Ce que les scientifiques appellent l'hypothèse « compensatoire ». « *Rien ne sert d'adopter un comportement désagréable pour obtenir plus de pouvoir*, conclut Cameron Anderson. *Et mieux vaut accorder une plus grande attention à l'agréabilité comme critère de promotion.* » Le chercheur souligne également que, dans la société, les responsabilités sont confiées à des personnes désagréables « *tout aussi souvent qu'à des personnes agréables* », ce qui est problématique car les personnalités négatives peuvent engendrer, elles, de sérieux dommages dans l'organisation. ■

Elena Sender
@ElenaSender

Se comporter de manière agressive, voire en tyran ne facilite pas l'accès aux fonctions de pouvoir (ici Meryl Steep interprête Miranda Priestly dans « Le diable s'habille en Prada »).

COLLECTION CHRISTOPHEL

Cure détox raisin : attention à l'intox

Si les bienfaits nutritionnels des grains de raisin sont reconnus lorsqu'ils sont consommés avec modération, suivre un régime exclusif de plusieurs jours peut être dangereux pour l'organisme.

La cure « détox » (« détoxication ») de raisin est devenue un incontournable de l'automne. L'envie de « débarrasser » l'organisme des toxines *(voir lexique)* accumulées et — pourquoi pas — de perdre au passage quelques kilos en trop est de saison. Déjà connue des Grecs et des Romains, la cure uvale (d'*uva*, raisin en latin) a été popularisée dès 1927 aux États-Unis par Johanna Brandt, une infirmière qui aurait triomphé d'un cancer grâce à cette « monodiète » (régime exclusif). Son principe est de ne se nourrir que de raisins pendant deux à cinq jours, voire une semaine pour les plus téméraires, à raison de 2 à 3 kg par jour. À première vue, ne consommer qu'un seul aliment pour mettre au repos le système digestif semble une bonne idée. Mais à y regarder de plus près, ce régime exclusif, même de courte durée, peut être délétère. Aussi les scientifiques émettent-ils des doutes sur les réels bienfaits de l'exercice. Le point pour séparer le bon grain de l'ivraie.

Ses grains sont antioxydants

Les cures détox font souvent la part belle aux aliments contenant une quantité appréciable d'antioxydants, censés protéger nos cellules des radicaux libres. Ces composés chimiques dérivés de l'oxygène produits par l'organisme joueraient un rôle dans le vieillissement des cellules. La cure de raisin ne déroge pas à cette règle, en raison de sa richesse en polyphénols (anthocyanidines, resvératrol, quercétine, kaempférol, catéchines). Ces antioxydants, concentrés dans la peau et les pépins, confèrent à la baie sa couleur et son astringence. Selon l'indice ORAC, les raisins noirs auraient une plus forte activité antioxydante (1736) que les blancs (1018).

Mais ils sont trop sucrés

Avec 79 kcal/100 g (chasselas) à 90 kcal/100 g (muscat noir), le raisin est l'un des fruits les plus caloriques après la banane. Cet apport énergétique est essentiellement fourni par les glucides. Le raisin blanc italia à gros grains apporte 15,5 g/100 g de sucres, le muscat noir 19,6 g/100 g, un verre de 200 ml de jus de raisin, 32 g soit cinq morceaux de sucre standards (1). Pour les diabétiques de type 2, mieux vaut donc s'abstenir. Ces glucides se composent à parts égales de glucose et de fructose, un sucre dont l'excès induit

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

3,5 kg

de raisins de table sont achetés en moyenne par ménage chaque année en France.
Source : Kantar Worldpanel.

TOXINES Déchets produits par l'organisme, soit lors de la digestion (des protéines et des graisses notamment), soit en réaction à son environnement (tabac, stress, pollution, médicaments, additifs…).

POLYPHÉNOLS Micronutriments présents dans les végétaux et ayant des propriétés antioxydantes. On distingue les flavonoïdes, les acides phénols, le resvératrol et les curcuminoïdes.

INDICE ORAC Il permet d'évaluer la capacité d'un aliment à absorber les radicaux libres produits par l'organisme. Exprimé en unités pour 100 g, il est calculé au moyen d'un test qui porte le même nom. Plus l'indice est élevé, plus le potentiel antioxydant de l'aliment est important.

une accumulation de triglycérides dans le foie, qui peut être à l'origine d'une stéatose hépatique non alcoolique (NASH) ou maladie du « foie gras ». Prudence donc car en fragilisant cet organe chargé de l'élimination des déchets, la monodiète de raisin peut finalement mener à l'inverse de l'effet escompté.

C'est l'un des fruits les plus traités

87,3 % des grappes issues de l'agriculture conventionnelle vendues en France sont contaminées par des pesticides, selon une enquête élaborée à partir de données de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) entre 2012 et 2017 (2). Or les produits phytosanitaires sont des composés biologiquement actifs qui peuvent endommager l'ADN, se lier à des récepteurs nucléaires impliqués dans la détoxication ou augmenter le taux de radicaux libres (3). Pour l'effet détox, on repassera… Mieux vaut donc privilégier les fruits « bio ».

Son efficacité « détox » n'est pas prouvée

Blancs ou noirs, les grains sont riches en eau (80 %) et possèdent un rapport potassium/sodium (250 mg/2 mg) élevé qui leur confère des propriétés diurétiques. Leurs teneurs en polyols et en fibres (2 à 3 kg de chasselas en apportent 40 à 60 g) en font aussi un laxatif puissant. Consommer en quantités importantes du raisin aide ainsi à drainer les organes dits émonctoires que sont les reins et les intestins. Toutefois, la capacité des cures détox à renforcer le processus naturel d'élimination des déchets toxiques (pesticides, perturbateurs endocriniens, métaux lourds, additifs) ne repose sur aucune donnée scientifique (4). Et prudence, car à fortes doses, fibres et polyols sont irritants pour l'intestin, surtout si l'on consomme les pépins, riches en lignine et en tanins astringents.

La cure peut provoquer des carences

Une monodiète de quelques jours peut facilement faire perdre du poids. Mais il s'agit en grande partie d'une perte en eau qui, si la cure se prolonge, peut s'accompagner d'une fonte musculaire due au manque d'apports protéiques (0,75 g/100 g de chasselas) et d'acides gras essentiels (0,5 g/100 g de lipides). De la fatigue, des maux de tête ou des crampes peuvent aussi survenir. De plus, comme après tout régime restrictif, attention à l'effet yo-yo. Les grammes perdus peuvent rapidement être repris une fois revenu à une alimentation équilibrée.

En croquer modérément est bon pour le cœur

Pourtant, les bienfaits nutritionnels du raisin sont avérés lorsqu'il est consommé avec modération. Il fournit des minéraux dont le phosphore (21 mg/100 g de chasselas) et le magnésium (7,6 mg/100 g d'italia), ainsi que des vitamines du groupe B. 100 g de muscat noir apportent 67,7 µg de bêta-carotène, précurseur de la vitamine A, nécessaire à une bonne vision et au système immunitaire. Par ailleurs, le raisin serait bon pour le cœur. En croquer plus de 400 mg par jour réduirait significativement les taux plasmatiques de LDL cholestérol (-0,15 mmol/l par rapport au groupe témoin) (5), un des responsables de l'athérosclérose. ■

Sylvie Boistard

PR. GABRIEL PERLEMUTER
Chef du service d'hépato-gastro-entérologie et nutrition à l'hôpital Antoine-Béclère, à Clamart*

« Le foie et les reins détoxiquent naturellement tout ce que nous avalons »

« Aucun argument scientifique valable ne permet de certifier qu'une monodiète de plusieurs jours est intéressante pour détoxiquer l'organisme. Le corps humain possède ses propres processus pour se débarrasser naturellement des composés toxiques, grâce aux reins et au foie. Celui-ci détoxique tout ce que l'on avale, purifie et élimine. Face à une alimentation riche en pesticides et en plats industriels, la meilleure façon d'alléger sa charge de travail et de mettre le système digestif au repos est de réduire la part quotidienne de graisses et de sucres, présents dans les sodas, les jus de fruits et les féculents afin de diminuer les sécrétions de bile et d'insuline. »

* Auteur de Les Pouvoirs cachés du foie, Flammarion, 2018.

(1) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(2) État des lieux des résidus de pesticides dans les fruits et les légumes en France, Générations futures, février 2018.

(3) Les effets des mélanges de pesticides, Gamet-Payrastre L. et al, *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2017.

(4) Detox diets for toxin elimination and weight management : a critical review of the evidence, Klein A.V. et al, *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 2015.

(5) Impact of grape products on lipid profile : A meta-analysis of randomized controlled studies, Lupoli R. et al, *Journal of Clinical Medicine*, 2020.

BURGER/PHANIE

Fatigue chronique mais aussi risque de pathologies cardio-vasculaires font partie des conséquences du syndrome d'apnée du sommeil (ici traitement par appareil de pression positive continue).

Cinq questions pour gérer les troubles du sommeil

Une personne sur trois déclare mal dormir. Mais les troubles du sommeil sont très divers. Leurs conséquences sur notre santé et les méthodes de prise en charge le sont tout autant.

1 Quand faut-il s'inquiéter de ses insomnies ?

Stress, repas copieux, rendez-vous amoureux... Beaucoup de facteurs extérieurs peuvent influencer notre sommeil. Se réveiller insatisfait de sa nuit, cela arrive à tout le monde et n'a rien d'inquiétant. Nous pouvons mal dormir... sans le savoir ! Ainsi, une étude menée en 2013 sur plus de 1000 personnes par une équipe de l'Université fédérale de São Paulo (Brésil) a montré que 23 % des personnes qui estiment bien dormir présentent pourtant un trouble objectif du sommeil... alors que 64 % de celles déclarant avoir mal dormi ont en réalité un sommeil de bonne qualité. Pour la médecine, l'insomnie se définit par l'existence d'au moins un trouble (difficultés d'endormissement ou de continuité, réveil trop précoce, temps de sommeil nocturne inférieur à 6 heures). Celui-ci doit en outre survenir *a minima* trois fois par semaine et depuis au moins trois mois, dans un contexte pourtant propice au repos. Et cela doit être accompagné de répercussions sur l'activité diurne (fatigue, irritabilité, difficultés professionnelles ou scolaires...). Autant de troubles qui doivent conduire à consulter. Avant tout traitement médicamenteux, il faut commencer par objectiver les troubles et leurs conséquences, en tenant par exemple un agenda du sommeil, identifier et corriger les mauvaises habitudes, et écarter toute pathologie qui pourrait être à l'origine de l'insomnie.

CHIFFRES

Insomnie chronique

L'anxiété ou la dépression multiplie par 7 à 10 le risque d'insomnie.

Syndrome des jambes sans repos

8 % des Français en souffriraient, deux fois plus de femmes que d'hommes.

Apnée du sommeil

20 % des 45-64 ans sont concernés, et plus de 30 % des plus de 65 ans.

SOURCES : INSERM, CHU DE POITIERS.

2 Quelles sont les conséquences de l'apnée du sommeil sur la santé ?

Le syndrome d'apnée du sommeil se manifeste par des interruptions répétées et incontrôlées de la respiration pendant quelques dizaines de secondes, et ce plus de cinq fois par heure durant la nuit. Elles entraînent des défauts d'oxygénation de l'organisme et des micro-réveils dont le patient n'a même pas conscience. Pourtant, les conséquences néfastes sur la santé sont nombreuses. Ces troubles entraînent en effet une fatigue chronique, une somnolence diurne et des difficultés de concentration qui augmentent le risque d'accident, et peuvent engendrer des troubles de l'humeur.
Plus inquiétant, l'apnée du sommeil favorise certaines pathologies cardio-vasculaires : hypertension, troubles du rythme cardiaque, athérosclérose (maladie des artères), syndrome métabolique (obésité associée à des troubles du métabolisme), diabète de type 2, etc. Autant d'affections qui majorent le risque d'accidents cardio-vasculaires (infarctus, AVC). Interviennent aussi dans la fréquence de l'apnée du sommeil des facteurs comme le sexe (les hommes sont deux fois plus touchés que les femmes), l'âge et le surpoids.

3 Et si c'était le syndrome des jambes sans repos ?

Des impatiences des membres inférieurs, un besoin irrépressible de bouger les jambes en

Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

On peut toujours compter sur la nature

Ou sur L72, un médicament homéopathique aux 10 substances actives traditionnellement utilisé dans les troubles mineurs du sommeil liés à la nervosité (émotivité, stress).

Difficultés d'endormissement,
sommeil agité,
réveils nocturnes ou précoces...

Chez l'enfant, un trouble du sommeil nécessite de consulter un médecin.

Sans accoutumance.

Disponible sans ordonnance en pharmacie.

À partir de 30 mois

VU à la TV

NOUVEAU

À partir de 30 mois

Contient de l'alcool

OU

Contient du lactose

FABRIQUÉ EN FRANCE

Lire attentivement la notice. Si les symptômes persistent, consultez votre médecin. Demandez conseil à votre pharmacien.

Laboratoires Lehning 3, rue du petit marais 57640 Sainte-Barbe. VISA N°19/11/60202031/GP/002 - 2020-PI-043.

LEHNING
LABORATOIRES

INTERVIEW

MARIE-PIA D'ORTHO PROFESSEURE COORDINATRICE DU SERVICE D'EXPLORATIONS FONCTIONNELLES MULTIDISCIPLINAIRES – SOMMEIL DE L'HÔPITAL BICHAT (AP-HP, PARIS)

« Réserver le lit au sommeil et au sexe »

Comment décrire le cercle vicieux de l'insomnie chronique ?

Nous n'avons pas tous la même sensibilité face aux troubles du sommeil. Le problème, c'est lorsque l'on commence à les anticiper de façon anxieuse, à se dire *« je ne vais pas dormir cette nuit »*, avant même d'aller se coucher ! Il y a aussi un conditionnement négatif : le lit devient inconsciemment le symbole de l'insomnie. Et enfin les fausses croyances, lorsqu'on associe automatiquement mauvaise humeur ou échec au manque de sommeil.

M.-P. D'ORTHO

Avant d'envisager un traitement médicamenteux, une thérapie cognitive et comportementale (TCC) peut-elle répondre à ces problèmes ?

Tout à fait. Le patient réapprend les bonnes habitudes et les bonnes attitudes vis-à-vis du sommeil. Il s'agit de prendre conscience des mauvaises croyances, de réserver le lit exclusivement au sommeil et aux pratiques sexuelles : lorsqu'on ne dort pas, on ne reste pas dans son lit à ruminer ou même lire. Mieux vaut se lever, changer de pièce, et faire quelque chose. Une thérapie par l'éveil peut aussi être envisagée, c'est-à-dire diminuer le temps passé au lit en retardant l'heure du coucher. Cela permet d'augmenter le besoin de sommeil et donc la qualité de celui-ci les nuits suivantes.

Concrètement, comment cela se passe ?

Une TCC est une thérapie courte, une heure par semaine sur 6 à 12 semaines environ, où le patient est accompagné par un psychothérapeute ou un psychiatre pour travailler sur ses émotions et ses comportements. L'objectif est d'augmenter l'efficacité du sommeil, qui peut être vu comme le rapport temps de sommeil/temps passé au lit. ■

Propos recueillis par E. G.

Pour trouver un thérapeute, consulter l'annuaire de l'Association française de thérapie cognitive et comportementale : www.aftcc.org.

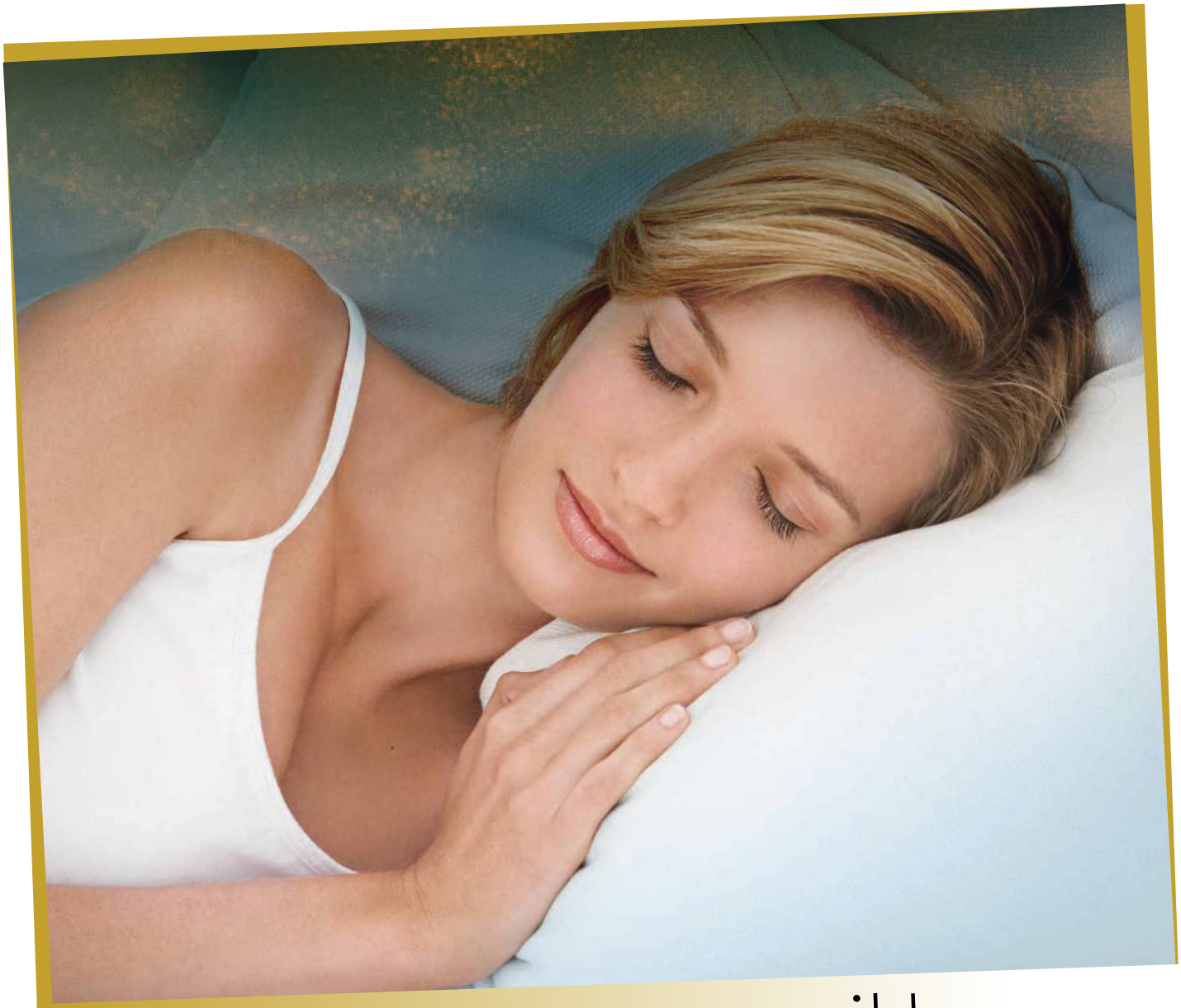
Des conseils utiles peuvent également être trouvés sur le site de l'Institut national du sommeil et de la vigilance : https://institut-sommeil-vigilance.org

4 Comment éviter le « retard de phase » ?

S'endormir difficilement au milieu de la nuit pour se réveiller tard dans la journée, telle est l'expression du « retard de phase », le trouble du sommeil le plus fréquent chez les adolescents mais aussi les adultes sans emploi ou vivant seuls. Ce décalage de l'horloge biologique par rapport au rythme jour/nuit peut avoir des conséquences sur la qualité du sommeil et donc sur la santé. Pour éviter cela, il est recommandé de ne pas avoir d'activités trop stimulantes le soir, d'abolir les écrans après 22 heures car leur lumière artificielle perturbe l'endormissement, et de s'exposer à la lumière du jour tôt le matin pendant au moins 15 minutes. À noter que les adolescents ont une tendance naturelle et physiologique au retard de phase, mais le conflit avec le rythme de vie scolaire et familial peut entraîner une « dette de sommeil » importante, avec des répercussions notamment sur les performances au collège ou au lycée.

5 Pourquoi faut-il se méfier de l'orthosomnie ?

Appli sur smartphone et montre connectée, masque, oreiller ou matelas « intelligent »... Nous assistons au boom des objets connectés promettant d'améliorer son sommeil. Mais à trop vouloir en contrôler qualité et quantité, on prend surtout le risque de le voir se dégrader ! C'est en tout cas le signal d'alerte lancé dès 2017 par la Pr Kelly Glazer Baron et ses collègues des Rush University et Northwestern University de Chicago (États-Unis) qui ont inventé le concept d'orthosomnie. Durée des cycles, fréquence cardiaque, pourcentage de dette de sommeil, comparaison avec d'autres utilisateurs... les données peuvent en effet être déroutantes, voire angoissantes. L'important est donc de considérer ces objets et applis uniquement pour ce qu'ils sont : des enregistreurs de données. Mais ils ne remplacent en aucun cas un médecin capable d'établir un diagnostic et de proposer des solutions face à un réel trouble du sommeil ayant des conséquences sur la santé physique et psychique. ■



Solgardez votre sommeil !

Le flacon d'or Solgar contient de la mélatonine qui contribue à réduire le temps d'endormissement et les effets du décalage horaire.

En pharmacies et magasins de diététique.

SOLGAR
Since 1947

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

Solgar.fr

Votre salle de bains
peut être dangereuse...

Kinemagic

UN PRODUIT KINEDO

remplace votre baignoire par une douche à l'italienne

en 48H **pour 0€*** **avec l'aide de ActionLogement**

*sous réserve d'éligibilité et selon modèle

Évitez les chutes avec
une douche
facile d'accès,
design et luxueuse.
Un produit français

Kinedo

Fabrication française

PLUS D'INFORMATIONS

par téléphone
0 800 05 06 07 Service & appel gratuits

par internet
www.kinemagic.fr

par courrier
en retournant la demande de devis personnalisé et gratuit

Coupon à envoyer à :
AQUAPRODUCTION
LIBRE RÉPONSE 51045
44680 SAINTE PAZANNE

PROFITEZ DU PLAN NATIONAL « salle de bains » JUSQU'À 5000€ D'AIDE

❑ Oui, je souhaite en savoir plus sur la douche Kinemagic et bénéficier d'un **DEVIS GRATUIT** sans engagement de ma part.

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

CP : ..... Ville : .....

Téléphone : .....

Email : .....

N'affranchissez pas ce courrier, nous vous offrons les frais postaux.

Kinemagic - Sciences & Avenir

Édito

Jusqu'à 3 millions de décès évités chaque année grâce à la vaccination

Le 25 août dernier, l'OMS annonçait l'éradication de la poliomyélite en Afrique grâce à des efforts massifs de vaccination. Preuve de l'immense importance du geste vaccinal…

Selon l'OMS, pour être efficace, la couverture vaccinale doit être de 95 %. Seulement voilà, en France, elle n'atteint pas ce taux, et ce ni chez l'enfant, ni chez l'adulte. Et c'est pourquoi, d'ailleurs, dès 2018, le gouvernement a choisi de rendre obligatoires 11 injections plutôt que trois jusqu'alors (uniquement recommandées). Selon le Ministère des solidarités et de la santé : grâce à la vaccination, plus de 2 à 3 millions de décès par an sont évités. C'est la raison pour laquelle aussi, même durant le confinement, les pédiatres ont largement appelé les parents à bien suivre le calendrier vaccinal pour leur enfant.

En cette période de pandémie, la vaccination est sur toutes les lèvres mais pour autant, les vaccins disponibles ne sont pas suffisamment utilisés. « *Il existe des vaccins recommandés comme celui de la grippe chez les personnes fragiles et celles âgées de 65 ans et plus. Si ce vaccin n'est pas parfait, il permet d'éviter des hospitalisations et des décès. Or, la couverture vaccinale est très imparfaite (50 %)* », explique Odile Launay, infectiologue et responsable du centre de vaccinologie de l'hôpital Cochin à Paris. Alors que la grippe promet d'arriver, il est donc important de « *suivre les recommandations vaccinales pour les personnes fragiles et d'augmenter la couverture vaccinale pour essayer de réduire au maximum la circulation du virus grippal.* »

Pour l'heure, le vaccin le plus attendu reste celui qui pourrait protéger la population contre la Covid-19. Mais le processus s'avère long. Cela, parce que le développement d'un vaccin est extrêmement encadré. Dans le processus, il y a notamment, les phases cruciales d'essais cliniques « *incompressibles, un vaccin ne pouvant être autorisé que s'il a démontré son efficacité et sa sécurité* », conclut Odile Launey. ■

Dossier réalisé par **DUOMEDIAS.**
Gilles Baron 06 82 84 11 02 – gbaron@duomedias.fr
Rédaction : Victoire Lissajoux – Maquette : Sylvie Bisson

INFORMATION COMMUNIQUÉE PAR L'ENTREPRISE DE SANTÉ PFIZER FRANCE

Innover pour concevoir les vaccins de demain

Améliorer les vaccins existants et en développer de nouveaux pour répondre aux enjeux de la médecine d'aujourd'hui et de demain : tel est l'objectif de Pfizer. Parce que la vaccination fait partie des grands progrès en matière de santé publique, Pfizer continue d'investir en recherche et développement pour aller toujours plus loin et apporter des innovations qui changent la vie des patients.

Du premier antidiphtérique en 1906 à sa mobilisation dans la recherche d'un vaccin contre la COVID-19, le laboratoire s'est constamment attelé à innover pour protéger les populations contre les maladies infectieuses. Pfizer a ainsi contribué aux grands progrès de l'histoire vaccinale ; par exemple en ayant conçu des vaccins basés sur des nouvelles technologies qui ont contribué à la prévention d'infections bactériennes graves. Pfizer maintient un effort de recherche important avec 9 programmes actuellement en cours de développement (1) pour mettre au point de nouvelles générations de vaccins. « *Notre recherche se concentre sur les besoins médicaux non satisfaits : ainsi nous continuons à améliorer nos vaccins existants et découvrons de nouvelles voies de prévention contre les maladies infectieuses actuellement sans solution* », commente David Lepoittevin, Directeur de la division Vaccins Pfizer France.

Les candidats-vaccins en développement

En matière de recherche et développement, les priorités de Pfizer sont multiples et concernent tous les âges de la vie : « *La lutte contre des infections dues à des bactéries résistantes aux antibiotiques ou encore la prévention d'infections du jeune nourrisson causées par exemple par le virus respiratoire syncytial ou encore par le streptocoque de groupe B et potentiellement évitables par la vaccination maternelle* ». Investissant via sa propre capacité de recherche, mais aussi par le biais de collaborations externes, le laboratoire s'est notamment associé à la société Valneva pour co-développer le candidat-vaccin contre la maladie de Lyme de la biotech française. Pfizer collabore également depuis 2018 avec la biotech allemande BioNTech à la mise au point d'un nouveau vaccin contre la grippe. Un partenariat qui a récemment évolué pour développer un candidat-vaccin à ARN contre la COVID-19. « *Dans l'urgence sanitaire que nous connaissons, notre responsabilité est de mobiliser nos meilleures ressources avec l'espoir d'apporter rapidement une réponse à la pandémie de COVID-19* », conclut David Lepoittevin. ■

(1) Données internes Pfizer – Pipeline Pfizer Vaccins en date du 28 juillet 2020. (PP-VAC-FRA-0482)

La vaccination : ce geste qui a contribué à sauver des millions de vie

Grâce aux progrès, aujourd'hui nous avons les moyens de prévenir la résurgence de maladies infectieuses parfois graves. Entretien avec le Pr Robert Cohen, vice-président de la Société Française de Pédiatrie et pédiatre infectiologue à l'hôpital intercommunal de Créteil (Val-de-Marne), sur l'importance de la vaccination.

Comment la France se situe-t-elle en Europe en ce qui concerne la vaccination ?

Malgré de grandes similitudes, les calendriers vaccinaux varient d'un pays à l'autre, tant en ce qui concerne le nombre de maladies prévenues que le nombre de vaccins et, contrairement à une idée répandue, de tous les pays européens, les jeunes français font partie de ceux qui sont les moins bien protégés… et qui reçoivent le moins d'injections. Nos voisins européens vaccinent leurs enfants contre le rotavirus, les infections invasives à méningocoque du groupe B ou encore la varicelle.

Quelles sont les raisons qui expliquent cette situation ?

L'hésitation vaccinale est particulièrement marquée en France. Elle a conduit les autorités de santé à rendre l'ensemble des vaccins recommandés pour les nourrissons, obligatoires. Les vaccinations contre la diphtérie, le tétanos, la poliomyélite, la coqueluche, l'infection à *Haemophilus influenzae B*, l'hépatite B, le méningocoque C, le pneumocoque, la rougeole, les oreillons et la rubéole sont devenues obligatoires chez les nourrissons nés depuis 2018. Respecter ces obligations protège les enfants à titre individuel d'une part et d'autre part, préserve collectivement le système de santé.

La vaccination doit-elle poser question ?

En France, associée aux mesures d'hygiène au cours du XX^{e} siècle, la vaccination a contribué à la baisse de la mortalité. Son bénéfice est clairement inscrit dans l'histoire ; pour s'en convaincre, il suffit d'observer les chiffres et de constater la chute de la mortalité. Il n'y a pas de débat là-dessus. Comme les vaccins sont des produits adressés à des gens parfaitement sains, ils doivent bénéficier d'un niveau de sécurité comme aucun autre médicament… mais comme tout produits biologiques actifs, ils ne sont pas exempts de réactions secondaires, très souvent mineures et passagères. En effet, pour tous les vaccins, sans exception, le bénéfice est toujours de 100 fois à 1 000 fois supérieur au risque ! Pour certaines maladies, comme la coqueluche, retarder la vaccination, même d'un mois, peut avoir de graves conséquences. Les coqueluches des tout-petits sont souvent beaucoup plus sévères et cela augmenterait le nombre d'hospitalisation de 8 à 10 %. Nous ne pouvons pas repérer les enfants qui feront des complications, d'où la vaccination globale. « Laisser faire la nature » comme on l'entend parfois représente une surmortalité de 1 pour 1 000, soit 800 décès par an. Nous savons également que la rougeole est cinq fois plus contagieuse que le coronavirus. Il est donc crucial de bien respecter les dates des recommandations vaccinales, malgré l'épidémie ! ■

Covid-19 : la mobilisation des pédiatres

Dès l'annonce du confinement, les pédiatres se sont très vite mobilisés afin d'alerter les parents sur l'importance de respecter le calendrier vaccinal malgré la crise. Le 19 mars dernier, à l'unanimité, les syndicats professionnels rappelaient ainsi que les consultations de vaccination faisaient précisément partie des consultations « urgentes » autorisées d'ailleurs par les autorités de santé, parce que cruciales.

MSD Vaccins : un acteur engagé dans la prévention dès le plus jeune âge

« *En termes de vaccination, MSD doit beaucoup à Maurice Hilleman, Docteur en microbiologie* », explique le Dr Evelyne Caulin, Directeur Médical Délégué pour les Vaccins de la pédiatrie chez MSD. Celui qui a été l'un des principaux scientifiques de l'histoire de la médecine moderne de la vaccination a dirigé pendant près de 30 ans le programme de recherche sur les vaccins de MSD. « *Il a notamment été à l'origine de la mise au point du tout premier vaccin ROR (contre la rougeole, les oreillons et la rubéole). Par la suite, il a aussi développé un vaccin contre l'hépatite B, un autre, contre les infections invasives à pneumocoque, un autre contre la méningite…* » Au total, le Dr Maurice Hilleman a créé plus de 40 vaccins chez l'homme et l'animal !

Avec près de 130 années de recherche et développement dans la vaccination, MSD propose aujourd'hui des vaccins contre 9 des 11 maladies à prévention obligatoire chez le nourrisson. « *Au quotidien, le laboratoire s'engage aussi de façon pédagogique, auprès des professionnels de santé et des parents,* poursuit le Dr Caulin, *en mettant à leur disposition des informations sur les questions qu'ils peuvent se poser sur la vaccination* ». Sur la problématique majeure des nourrissons et des enfants n'ayant pas été vaccinés au moment du confinement, MSD s'est par exemple beaucoup impliqué pour relayer les recommandations des autorités de santé auprès des professionnels de santé.

Avec le soutien institutionnel de MSD Vaccins

SANOFI PASTEUR

Grippe saisonnière : ayons le réflexe prévention !

Dans quelques semaines, la grippe saisonnière fera son apparition. Plus encore, cette année, la vaccination pour s'en prémunir au mieux est essentielle. Les explications du Dr Jacques Gaillat – Centre Hospitalier Annecy Genevois.

Qui sont les personnes qui sont concernées par la vaccination contre la grippe saisonnière ?

Les publics visés sont les plus de 65 ans, mais aussi les personnes présentant un facteur de risques du fait d'une certaine fragilité de santé (maladie chronique). En réalité tous les patients concernés reçoivent chez eux un bon émanant de la Sécurité Sociale pour les convier à se faire vacciner. Si la mortalité par la grippe saisonnière est difficile à évaluer, nous disposons toutefois de quelques indicateurs. Nous avons déjà connu, par exemple, un pic à 17 000 morts ; en 2017 et 2018, l'on sait aussi qu'elle a représenté quelque 13 000 décès dont 90 % chez les plus de 65 ans... Donc, la maladie,ainsi que les complications qu'elle peut entraîner, est potentiellement grave.

C'est pourquoi elle fait l'objet d'une grande mobilisation...

Il y a les décès, mais aussi les hospitalisations... Selon son intensité, très variable, d'une saison à l'autre, la grippe saisonnière représente quand même entre 20 000 et 40 000 hospitalisations, pour certaines saisons, sur huit semaines seulement d'épidémie. Et la grippe ne provoque pas uniquement l'engorgement des hôpitaux, les cabinets de médecine générale sont aussi concernés. Nous avons connu jusqu'à 6 millions de consultations, sur une saison pour unique motif de syndrome grippal. L'hiver 2020 inquiète beaucoup car il y a la Covid-19 qui s'est invitée. La surtension des hôpitaux mais aussi de la médecine de ville serait très problématique.

Les personnes « fragiles » se vaccinent-elles suffisamment contre ce virus grippal ?

La vaccination chez l'adulte est globalement assez mauvaise... Le taux de vaccination chez les personnes entre 65 et 75 ans est de l'ordre de 50/55 %, environ... Entre 75 et 84 ans, le taux augmente, et à 85 ans et plus, encore un peu. Le problème persiste chez les personnes en affection de longue durée âgées de moins de 65 ans chez lesquelles le taux est inférieur à 30 %... Il est prouvé qu'il existe un sur-risque d'AVC, ou d'infarctus notamment du myocarde, dans les suites d'une grippe. En tout état de cause, en France la vaccination contre ce virus est insuffisante : nous sommes bien loin de l'objectif de 75 % fixé par l'OMS pour ces populations à risque de grippe sévère ou compliquée.

Dans quelques semaines, en cas de symptômes, comment saurons-nous s'il s'agit d'une grippe ou de la Covid-19 ?

Comme pour la Covid-19, il existe pour la grippe saisonnière, des tests PCR pour poser un diagnostic avec certitude, dans la première phase de la maladie. Certains symptômes peuvent se ressembler, en effet, mais avec quelques différences et nuances cliniques, toutefois. Et puis, pour la grippe, le temps d'apparition des complications aiguës peut être plus long. Ce qu'il faut éviter à tout prix, cette année, c'est la double peine ! Il y a maintenant trois agents infectieux bien reconnus que sont la Covid (parce que d'actualité), la grippe et le pneumocoque. Or, nous avons déjà deux vaccins sur les trois qui ne sont pas suffisamment utilisés alors que tout le monde réclame celui contre la Covid. En réalité, si les recommandations étaient suivies, 12 millions de personnes devraient être vaccinées contre la grippe...

L'efficacité est-elle certaine et comment rassurer vis-à-vis de ce geste vaccinal ?

Les vaccins contre la grippe ne peuvent pas avoir une efficacité à 100 %. Mais l'on sait que même à 30 % (certaines années), ils ont un impact positif incontestable sur le nombre d'hospitalisations. C'est pourquoi il est également important en complément de respecter les gestes barrières pour limiter la propagation du virus grippal lors d'une épidémie. Des milliards de doses ont été distribuées dans le monde depuis plus de 50 ans. Les vaccins sont généralement bien tolérés, il peut y avoir des effets indésirables comme un petit mal à l'épaule, effectivement, ou parfois un peu de fièvre ou des courbatures, c'est le signe que notre organisme réagit. Si vous recevez le bon de prise en charge, c'est que la vaccination vous est recommandée. Allez vous faire vacciner ! C'est d'autant plus facile maintenant que la vaccination peut être pratiquée par un pharmacien, médecin, infirmier ou sage-femme.

Sanofi Pasteur, résolument engagé pour lutter contre la grippe et ses complications

Seule entreprise à produire ses vaccins grippaux en France, Sanofi Pasteur a distribué cette année 20 % de doses supplémentaires en France, afin de pouvoir faire face à la future épidémie de grippe, et protéger au mieux les personnes à risque en cette période de crise sanitaire. Résolument engagé pour les patients, le laboratoire réalise des campagnes de sensibilisation afin d'accompagner au mieux les professionnels de santé mais aussi les populations considérées comme « sensibles », pour mieux faire connaître le fardeau sous-estimé de la grippe. Notamment, Sanofi met l'accent sur les risques cardiovasculaires, 2e cause de mortalité en France (1). En effet, la grippe peut entraîner :

- inflammation, fièvre (3),
- développement de caillots sanguins (2),
- un risque d'infarctus jusqu'à 10 fois supérieur dans les 7 jours suivant une grippe (4),
- un risque 8 fois plus élevé de faire un AVC dans les 28 jours suivant l'infection grippale (4).

Aujourd'hui, 20 % des hospitalisations pour insuffisance cardiaque sont associée à la grippe (3).

(1) Santé Publique France - L'état de santé de la population en France https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/esp2017.pdf – accédé le 15/01/2020
(2) Ministère des Solidarités et de la Santé - https://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/maladies/maladies-cardiovasculaires/article/les-maladies-cardiovasculaires – accédé le 15/01/2020
(3) Kwong JC. Et al. N Engl J Med. 2018
(4) Warren-Gash et al., Eur Respir J. 2018

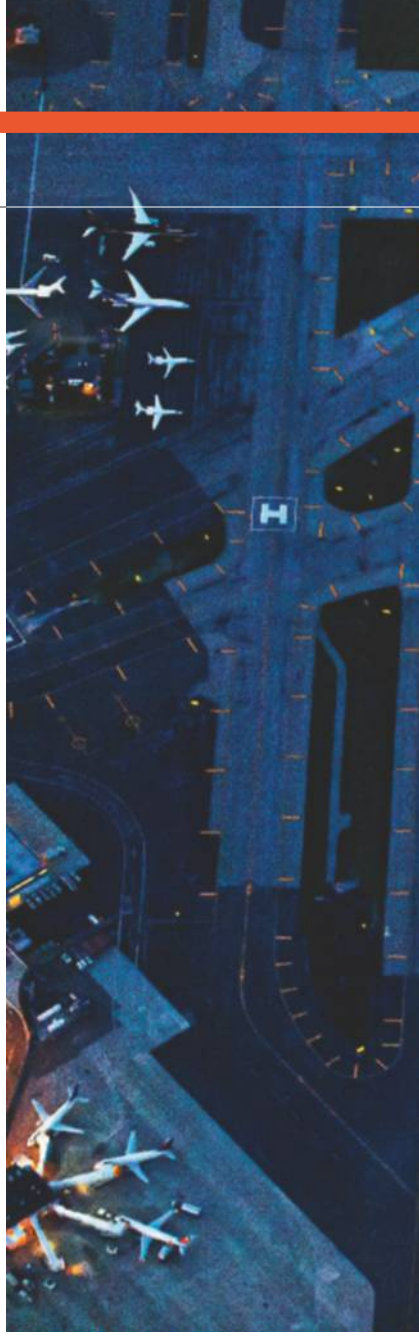
RÉSEAUX DE NEURONES Programme informatique d'intelligence artificielle inspiré du fonctionnement du cerveau.

APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE Procédure permettant à une intelligence artificielle d'apprendre à réaliser une tâche à partir d'exemples.

Le trafic aérien guidé par l'intelligence artificielle

Les outils fondés sur l'IA se diffusent rapidement dans le monde de l'aéronautique. Ils devraient fluidifier la rotation des avions et le roulage au sol des appareils pour éviter les engorgements.

Par Arnaud Devillard @A_Devilla



PLUS DE CONNECTIVITÉ et plus d'intelligence. Ce credo est au cœur du nouveau système de gestion de vol sur lequel travaille la branche aéronautique du groupe Thalès. PureFlyt a été présenté voilà quelques mois et est censé équiper les avions de ligne d'ici à 2024. Ce « cockpit » connecté à un serveur extérieur intégrera des données en temps réel, comme des informations sur la météo, la pression atmosphérique ou les changements de plans de vol, ce qui lui permettra de redéfinir des paramètres ou des parcours en fonction de celles-ci, dans le respect des contraintes de la gestion du trafic. Ce que les systèmes de vol actuels ne permettent pas. Thalès promet ainsi davantage d'anticipation, une meilleure adaptation à un espace aérien *a priori* de plus en plus encombré et, surtout, des économies de carburant. Ce système d'intelligence artificielle (IA) est entraîné par des méthodes dites d'apprentissage automatique *(voir le lexique)*, à partir de millions de cas de figure simulés issus de 100 millions d'heures de vols réels sur dix ans et près de 300 000 configurations de décollages et atterrissages.

En janvier, à Toulouse, l'avionneur européen Airbus a quant à lui réussi à faire décoller un A350 en mode 100 % automatique — sans intervention des pilotes — grâce à la vision par ordinateur gérée par une IA. De quoi imaginer bientôt des avions entièrement autonomes, réglant seuls leur décollage, atterrissage et trajet ? Les spécialistes tempèrent aussitôt. « *Nous sommes extrêmement prudents en la matière. Il n'est pas question pour l'instant de remplacer l'humain. L'intelligence artificielle n'est qu'une aide à la décision* », assurait ainsi Stéphane Puechmorel, conseiller scientifique de l'École nationale de l'aviation civile (Enac), lors du Forum Innovation organisé par *Sciences et Avenir* (groupe Challenges) à Tou-

En interprétant des images prises par des caméras placées autour des pistes, l'IA pourrait aider les contrôleurs à la gestion du trafic des aéroports (ici LaGuardia à New York, États-Unis).

JEFFREY MILSTEIN

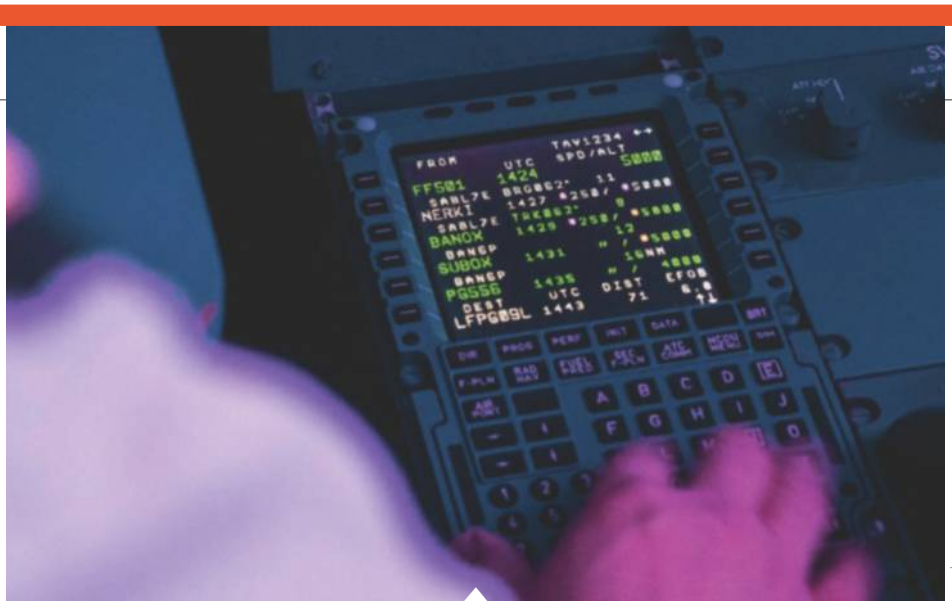
louse, en octobre 2019. Et Romaric Redon, AI Fast Track Leader chez Airbus d'insister : *« Les technologies [de l'IA] sont mûres dans des situations non critiques, quand il n'y a pas de vies humaines en jeu. »* Planification, analyse d'images, extraction d'informations dans des bases de données… En la matière, les réseaux de neurones *(voir lexique)* sont devenus très performants. C'est tout le sens de la constitution, dès 2017, de la bibliothèque d'images satellite OneAtlas par Airbus Defense & Space, la division de l'avionneur consacrée aux équipements militaires : fournir un terrain d'analyse et d'entraînement pour les algorithmes d'apprentissage automatique. *« Une image satellite n'est en soi pas très intéressante. C'est l'information qu'on en extrait qui importe et c'est ce à quoi sert l'IA »*, continuait Romaric Redon. Dans cette logique, l'aéroport d'Heathrow à Londres (Royaume-Uni) teste une technologie de vision par ordinateur mise au point par la société canadienne Searidge Technologies. Une vingtaine de caméras ultra-haute définition sont disposées autour des pistes, braquées sur le tarmac. Car avec ses 87 mètres de haut, la tour de contrôle pâtit d'un manque de visibilité sur ce qui se passe plus bas en cas de nuages de basse altitude. Les contrôleurs sont alors forcés de s'en remettre uniquement aux données radar. Les images des ▸

ROMARIC REDON

« Les technologies de l'IA sont mûres dans des situations non critiques, quand il n'y a pas de vie humaine en jeu »

Romaric Redon, AI Fast Track Leader chez Airbus

caméras interprétées par l'IA doivent compenser ces lacunes, indiquer si une piste est libre ou non pour, en bout de chaîne, limiter les retards au départ ou à l'arrivée des avions.
Sur ce terrain de l'aide à la décision, des anciens de Thalès ont fondé Innov'ATM, basé à Cugnaux au sud-ouest de Toulouse. Leur technologie est actuellement testée à l'aéroport de Genève (Suisse). Elle est destinée à gérer — toujours par les données — des aléas et à fluidifier le trafic aérien en cas de congestion, plutôt que de retarder les atterrissages, par exemple. Il existe en effet des contraintes de délais incompressibles entre deux avions en raison des turbulences créées dans le sillage des appareils. « *Mais on peut jouer sur d'autres critères, comme la typologie de l'avion*, note Stéphane Bascobert, cofondateur d'Innov'ATM. *Plus celui-ci est gros, plus il provoque de turbulences. Conséquence : il faut parvenir à faire passer les petits d'abord, ce qui permet d'enchaîner plus vite les décollages ou les atterrissages.* »
L'heure d'arrivée d'un avion étant connue 40 minutes à l'avance, sa trajectoire est alors recalculée en fonction de sa position (fournies par les données radar) et des aléas météo comme des vents contraires, ce qui permet à un modèle mathématique de définir un ordre d'atterrissage. « *L'algorithme procède aux mêmes calculs sur les pistes mixtes, qui servent à la fois aux atterrissages et aux décollages, en combinant des données sur les départs et les arrivées* », poursuit l'expert. L'enjeu étant d'éviter de pénaliser les premiers par rapport aux seconds et de trouver un certain équilibre. Au sol, le casse-



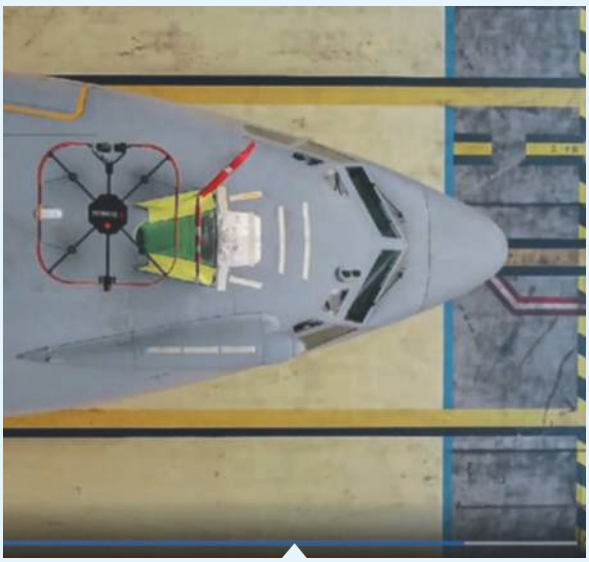
THALÈS

PureFlyt, système de vol développé par Thalès, doit optimiser les trajectoires grâce à la connectivité.

MAINTENANCE

La carlingue sous l'œil des drones

Plus d'efficacité mais surtout moins de coûts. Ce leitmotiv de l'intelligence artificielle (IA) s'applique particulièrement bien à l'aéronautique où l'immobilisation des avions pèse lourd dans les finances des compagnies. La société française Donecle propose de réduire le temps d'inspection des appareils en utilisant des drones équipés de système de vision par ordinateur. Elle a constitué une base d'images de défauts pour entraîner ses algorithmes à repérer, classer et localiser des traces de corrosion, des fissures, l'usure des peintures, l'altération ou l'absence de marquages obligatoires, etc. « *Pour les impacts de foudre par exemple, l'inspection humaine peut prendre jusqu'à douze heures car ces défauts sont très difficiles à repérer en raison de leur taille pouvant descendre jusqu'à 1 mm²* », explique Hélène Druet, responsable marketing de Donecle. Avec un drone, l'opération prend deux heures à peine. Sans compter que les algorithmes s'améliorent au fil des cas rencontrés. Les rapports d'inspection sont stockés dans un serveur cloud, constituant un historique de l'état de l'avion. Air France Industrie KLM, Austrian Airlines (Autriche), LATAM (Chili) ou le spécialiste américain de la maintenance aéronautique AAR s'y sont mis.


AFI KLM E&M/DONECLE

Un drone doté d'une vision par ordinateur permet de repérer, classer et localiser les fissures, traces de corrosion ou d'usure.

tête continue avec le roulage des appareils et les risques d'engorgement. « *Nous nous sommes inspirés du modèle de comportement des colonies de fourmis, qui prennent toujours le chemin le plus court*, continue Stéphane Bascobert. *En cas de conflit entre le parking et les pistes, on calcule un parcours de contournement valable.* »
Dans un autre registre, la start-up participe au projet Hologarde de détection de drones lancé par la Direction des services de la navigation aérienne et Paris Aéroport. Tous les objets volants aux alentours d'un aéroport sont détectés et des algorithmes entraînés par apprentissage automatique doivent aussitôt les identifier (avion, drone, ULM…) et renseigner sur leur trajectoire. « *Tout est en cours de déploiement mais cette technologie va prendre de l'ampleur car il faut être capable de laisser passer des drones sans pénaliser les avions tout en étant capable de déterminer s'il y a danger ou non.* »
Pour rappel, fin 2019, l'aéroport londonien de Gatwick a été fermé pendant 30 heures — bloquant un millier de vols et 140 000 voyageurs — en raison de la présence de drones dont l'origine reste non éclaircie. Innov'ATM a constitué sa propre base de données à partir d'images captées dans des aéroports et des centres d'évolutions de drones voisins de la société.

Peu de données sur les événements dramatiques

Cette question cruciale des bases de données est justement l'un des verrous qui bloquent la généralisation de l'IA dans le pilotage autonome. « *Nous disposons en effet d'énormément de données sur les événements qui se passent bien, beaucoup moins sur ceux qui tournent mal*, rappelle Romaric Redon. *D'un côté, c'est heureux, mais pour une approche basée sur les données, cela pose problème.* »
L'apprentissage automatique exigeant quantité d'exemples étiquetés, il apparaît ainsi difficile d'entraîner un algorithme à détecter les prémices d'un accident ou à corriger une situation de vol critique. Sans parler des cas de figure auxquels aucun expert n'aurait eu l'idée d'entraîner le système car trop rares, aberrants ou jamais survenus. Ainsi de cet accident d'un Boeing 757 qui fit près de 189 morts en 1996 en République dominicaine en raison d'une sonde obstruée par un nid de guêpes après un séjour prolongé dans un hangar… L'imprévu est toujours possible. Or pour l'occupant de tout véhicule autonome, la survie réside dans la réactivité au moment de la reprise en main. « *En manuel, nous avons tous nos réflexes grâce à nos yeux, nos oreilles, nos impressions*, rappelle Romain Kroës, ancien commandant de bord et auteur d'un essai sur l'informatisation des avions de ligne *(lire l'interview ci-dessus). Mais quand on doit reprendre le contrôle d'une machine, retrouver ses réflexes prend plusieurs secondes… et c'est parfois trop tard.* »
C'est pourquoi les phases critiques de l'atterrissage et du décollage sont toujours manuelles afin que les pilotes soient totalement opérationnels. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

- Le « cerveau » d'un avion de ligne : **sciav.fr/884cerveauavion**
- Décollage d'un Airbus A350 sans intervention humaine : **sciav.fr/884decollage**
- Interview de Romain Kroës, version longue : **sciav.fr/884Kroes**

INTERVIEW

ROMAIN KROËS ANCIEN PILOTE, AUTEUR DE « DÉCROCHAGE », ÉD. FYP

« Un logiciel ne peut pas tout prévoir »

ROMAIN KROËS

Le pilotage d'un avion de ligne est largement automatisé, mais pour quelles fonctions exactement ?
L'informatisation permet de mieux gérer l'équilibre du vol. C'est d'ailleurs très agréable, on se croirait en planeur. Cette stabilité est artificielle, basée sur des calculs très pointus et très réactifs. Ainsi, auparavant, un avion revenait naturellement à sa position d'équilibre lorsqu'il s'en écartait. Avec l'informatisation, dont le but était de supprimer le mécanicien de bord, le centre de gravité a été déplacé afin d'aider les automatismes à faire leurs mesures.

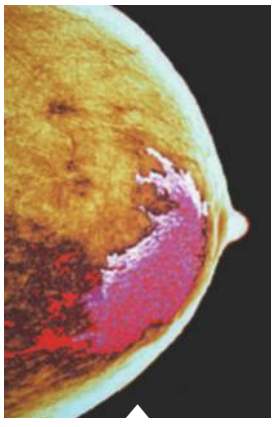
Reste-t-il des phases de pilotage manuel ?
Oui, le décollage. Initialement, il était prévu d'automatiser cette phase. Or, les pilotes ne disposent que de 40 secondes pour faire la transition entre un véhicule terrestre un peu pataud et un aéronef. C'est peu, surtout sur une piste de 40 mètres de large où tous les aléas sont imaginables. En cas de panne d'un réacteur par exemple, il faut pouvoir réagir rapidement. Si on laisse faire les automatismes, le pilote met quelques secondes de trop pour reprendre la main. En revanche, l'atterrissage automatique existe : l'avion s'aligne sur un faisceau radio extrêmement fin (l'ILS, Instrument Landing System). Mais la majorité des aéroports n'en sont pas équipés, encore moins s'il y a du relief.

L'avion sans pilote est-il envisageable ?
Je ne pense pas. Un logiciel ne peut pas tout prévoir. Or les situations imprévues se multiplient au fil du temps. Dans ce cas, la machine ne comprend pas et peut envoyer des messages erronés ou ne pas donner l'information utile. Il en a été ainsi lors du crash du vol Rio-Paris, en 2009. Le système de maintenance embarqué ACARS avait bien informé la compagnie, au sol, du givrage des sondes Pitot [mesure de vitesse] qui a provoqué la catastrophe. Mais les pilotes ne disposaient pas de l'information… parce qu'il n'avait jamais été prévu que cela puisse se produire. **Propos recueillis par A. D.**

Les grandes avancées de la lutte contre le cancer du sein

À l'occasion de la campagne Octobre Rose contre le cancer du sein, les chercheurs Dominique Stoppa-Lyonnet et Fabrice André font le point sur la lutte contre cette maladie. Pour « Sciences et Avenir-La Recherche », ils détaillent les améliorations du dépistage, les espoirs de nouveaux traitements et le rôle de l'intelligence artificielle dans le diagnostic.

Dialogue animé par Hugo Jalinière @HugoJaliniere



ZEPHYR/SPL/PHANIE

La caractérisation de la tumeur (en rose sur cette mammographie) permet désormais de mieux décrire les différents types de cancers du sein.

Cela fait 26 ans que la campagne Octobre Rose de sensibilisation au cancer du sein et à son dépistage est menée en France. Qu'est-ce que cela a changé ?

Dominique Stoppa-Lyonnet : Octobre Rose a eu un impact majeur pour démythifier la maladie auprès des femmes, de leurs proches et, plus largement, dans la société. La sensibilisation au dépistage, l'objectif premier, s'est par ailleurs accompagnée d'une plus grande attention à la prévention chez les femmes ménopausées qui veillent davantage à leur hygiène de vie. Désormais, cette campagne permet aussi de dire que même un cancer métastatique peut être combattu. Elle a engendré beaucoup d'initiatives qui profitent aux patientes. Je retiens en particulier les Maisons Roses de l'association Rose'Up, à Bordeaux et à Paris.

Fabrice André : L'éducation des femmes aux symptômes qui doivent alerter a changé beaucoup de choses. Il y a vingt-six ans, penser qu'une boule dans le sein pouvait avoir de graves conséquences n'avait rien d'intuitif. Tout comme le fait qu'il est bien plus facile de sauver les patientes si elles sont prises en charge précocement.

Le rôle du dépistage du cancer du sein a parfois été discuté ? Est-ce toujours le cas ?

F. A. : Il n'y a aucun doute scientifique possible : le dépistage sauve un très grand nombre de vies. Mais cela n'empêche pas de chercher à faire mieux ! Par exemple, d'émettre l'hypothèse que certaines femmes ont besoin d'un dépistage plus fréquent, quand d'autres nécessitent une moindre surveillance.

D. S.-L. Tout à fait. Et c'est justement le sens d'un essai clinique européen formidable, MyPeBS (My Personal Breast Screening) conduit par Suzette Delaloge à l'institut Gustave-Roussy, à Villejuif (Val-de-Marne) et qui porte sur 85 000 femmes âgées de 40 à 60 ans. L'idée est de calculer un risque individuel de cancer du sein en prenant en compte des facteurs classiques comme l'histoire familiale, la densité mammaire et le « Polygenic Risk Score » [score à l'échelle du génome, qui résume l'effet estimé de nombreux variants génétiques sur le phénotype d'un individu]. Il faudra dans un second temps prendre en compte les gènes de prédisposition (BRCA1 et 2), assez fréquents dans la population.

F. A. : Cette étude est une belle illustration de l'intérêt de l'Europe ! Au sujet du dépistage, on peut également citer les tests sanguins qui devraient être d'usage courant d'ici à cinq à dix ans. Ils vont permettre de détecter, dans le sang, de l'ADN tumoral circulant, signe qu'une tumeur est en train de se développer quelque part. Il faut encore surmonter des problèmes techniques entraînant la détection de faux positifs. Mais c'est une technologie très prometteuse, notamment pour détecter des cancers comme celui du pancréas, très difficile à dépister précocement.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR- LA RECHERCHE

Quelles sont selon vous les grandes avancées de ces vingt dernières années ?

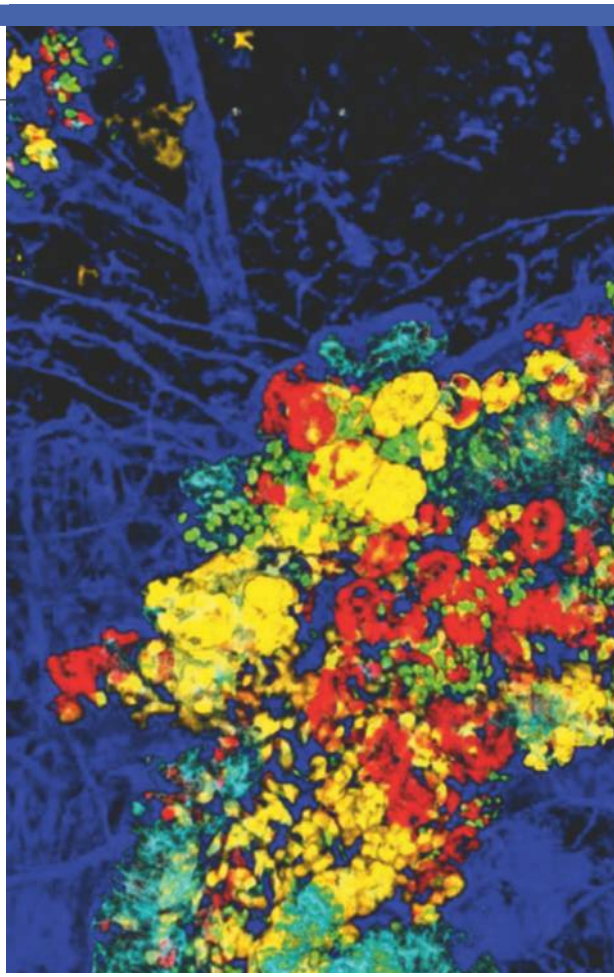
D. S.-L. : Sur le plan de la prédisposition au cancer, il faut citer l'identification d'une petite dizaine de gènes (BRCA1 et 2, PALB2, CDH1, TP53, PTEN, RAD51C et D...) qui ont un rôle plus ou moins important dans les mécanismes de la tumeur. C'est aussi le fait qu'on ne dise plus « le cancer du sein », mais « les cancers du sein ». La découverte de l'hétérogénéité tumorale est essentielle pour développer une médecine plus ciblée. La caractérisation tumorale permet une nouvelle nosographie [description] des cancers qui repose plus sur les voies cellulaires altérées que sur la localisation des tumeurs (sein, poumon, etc.).

F. A. : Beaucoup de progrès ont été faits en matière de traitements. Certains sont dits transformatifs, efficaces pour tellement de patients qu'ils changent le regard que nous portons sur la maladie. Ainsi du trastuzumab (Herceptin), qui cible le récepteur HER2, impliqué dans la prolifération cellulaire : la mortalité des patientes pour des cancers localisés est passée de 30 à moins de 5 % aujourd'hui. D'autres progrès sont dits incrémentaux : ils nous permettent d'améliorer peu à peu nos traitements, qu'il s'agisse de la chimiothérapie ou de l'hormonothérapie. Les éléments communs à toutes les transformations observées depuis vingt ans sont les avancées de la biologie et de la biotechnologie. Pouvoir faire du séquençage à très haut débit a permis de sous-classer les cancers en fonction de leurs caractéristiques moléculaires. Dernier élément important : la capacité à mener de grandes études cliniques. Or celle-ci est malheureusement remise en question par leur coût exponentiel et la réglementation à outrance qui entrave les structures publiques ou semi-privées. C'est un danger pour l'avenir.

On distingue souvent l'information génétique prédisposant au cancer de celle contenue dans le génome des tumeurs elles-mêmes ? Y a-t-il un lien entre les deux ?

D. S.-L. : Oui ! c'est ce que je ne cesse de marteler : ▶

Pr Fabrice André, professeur de médecine à l'université Paris-Saclay, directeur de la recherche à l'institut Gustave-Roussy à Villejuif (Val-de-Marne).
Pr Dominique Stoppa-Lyonnet, professeure de génétique à l'université de Paris, cheffe du service d'oncogénétique à l'Institut Curie à Paris.
Hugo Jalinière (en haut).



il ne faut pas oublier que l'étude de l'ADN tumoral, c'est d'abord l'étude de l'ADN natif de l'individu. C'est vrai qu'il s'agit dans le parcours de soins de circuits différents : séquencer le génome d'un individu, ce n'est pas la même chose que de séquencer le génome d'un échantillon tumoral en laboratoire. Pourtant, les deux s'articulent. Il y a aussi l'idée subliminale qu'un cancer est un peu comme une bête, un *alien*, qui grandit à l'intérieur de l'individu sans en faire partie. Mais la tumeur est toujours un dérivé du génome du patient.

« L'IA permet à la recherche d'explorer des contrées inconnues. Ou de voir des choses invisibles »

Pr Dominique Stoppa-Lyonnet

F. A. : Certes, l'anomalie de départ conditionne la biologie somatique. Mais n'oublions pas que très peu de cancers ont une explication uniquement génétique, avec une mutation clairement pathogène. Dans la plupart des cas, le cancer est une combinaison de facteurs divers (environnement, génomique, métabolique, etc.). Or, pour l'heure, il est très difficile d'intégrer ces éléments. L'intelligence artificielle (IA) nous permettra peut-être de comprendre les synergies entre chacun des facteurs à faible impact.

Quel rôle l'intelligence artificielle (IA) pourra-t-elle jouer dans la lutte contre le cancer ?

D. S.-L. : Un rôle important, c'est certain ! La numérisation des données cliniques, d'imagerie, de génétique est déjà en train d'améliorer la qualité et la reproductibilité des analyses. Surtout, fournir ces données à l'IA permet à la recherche d'explorer des contrées inconnues. Ou de voir des choses invisibles… La société spécialisée Owkin, partenaire de l'Institut Curie, a récemment publié une étude dans *Nature Medicine* : elle montre que son algorithme est parvenu à identifier une nouvelle entité de mésothéliome sur la base d'images numérisées d'échantillons de tumeurs, là où l'anatomopathologiste ne détectait pas cette anomalie caractéristique. Désormais il est averti et peut ainsi la repérer lui-même.

F. A. : L'IA va nous faire basculer dans la compréhension de la multitude de facteurs et de mécanismes moléculaires qui font les cancers. À terme, l'idéal serait de parvenir à modéliser entièrement la tumeur d'un patient, de créer des avatars numériques personnalisés. Ce qui permettrait de prédire le risque de rechute, de connaître les mécanismes à cibler, ceux qui vont induire une résistance, de cerner le rôle du micro-environnement tumoral… À plus court terme, l'impact de l'IA porte sur l'automatisation, qui doit conduire à une meilleure égalité des soins. Les patients n'auront plus à chercher « le meilleur radiologue », puisque c'est le même outil, plus performant, qui assistera tous les radiologues. Autrement dit, dans des situations où il y a très peu d'accès au soin, permettre à chacun d'avoir la même qualité de diagnostic.

L'IA n'aurait à vos yeux que des aspects positifs ?

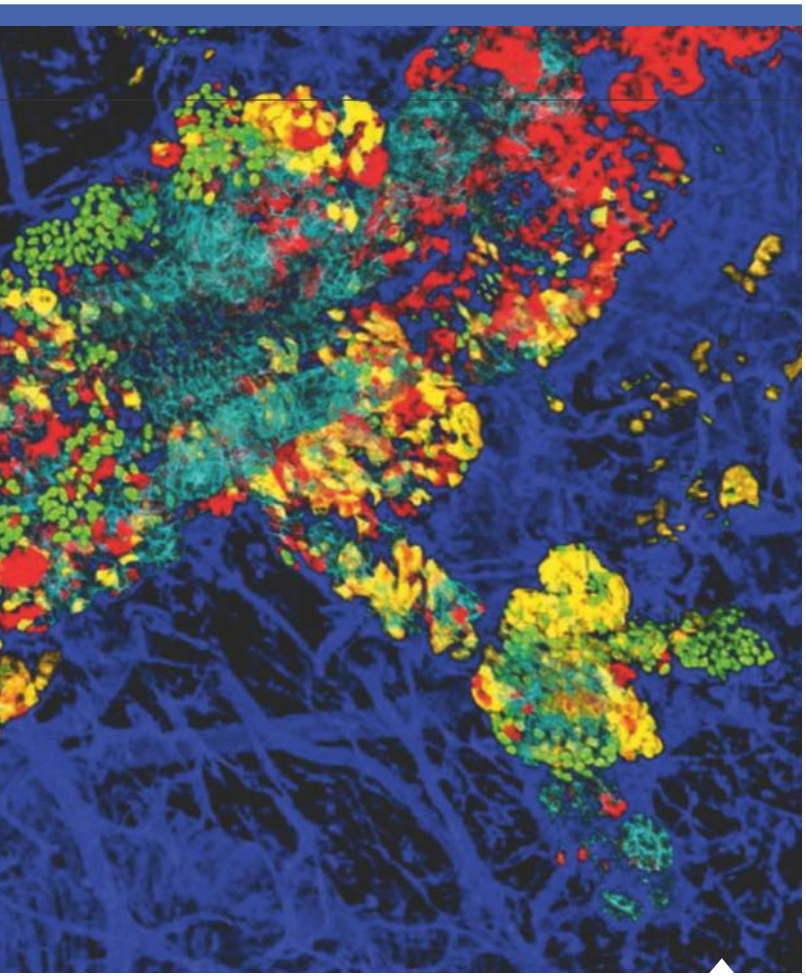
F. A. : Le problème majeur de l'IA, c'est le phénomène dit de la boîte noire. Aujourd'hui, des réseaux de neurones artificiels peuvent reconnaître un indice associé à une rechute par exemple, mais sans que nous puissions établir précisément ce qui les a mis sur la piste. C'est un défi mathématique : permettre à la machine d'associer ce qu'elle détecte à tels ou tels facteurs conjugués. Le jour où cela sera possible, nous pourrons cibler ces nouvelles variables avec des médicaments spécifiques. Tout changera alors.

Arrivera-t-on vraiment à vaincre le cancer un jour ?

D. S.-L. : La tumorogenèse est un processus biologique avec des pressions de sélection fortes qui conduisent les cellules cancéreuses à développer des résistances pour poursuivre leur développement. Ce sont des tissus vivants qui « veulent » vivre. Et nous en avons déjà vaincu certains ! Ainsi, le cancer des testicules était une maladie dramatique dans les années 1960. Aujourd'hui, les

LE + NUMÉRIQUE

À LIRE : la version intégrale du débat sur notre site **sciencesetavenir.fr**



DRANNE RIOS.

L'imagerie 3D à résolution cellulaire met en évidence de nombreuses cellules précancéreuses dans un canal mammaire (ici colorisées suivant les caractéristiques qu'elles expriment). On pourra ainsi identifier les bases moléculaires qui feront que ces cellules deviendront ou non cancéreuses à terme.

hommes n'en meurent quasiment plus. C'est une guerre de longue durée avec encore de nombreuses batailles à mener.

F. A. : Bien sûr que nous allons y parvenir ! En développant des technologies de dépistage encore plus précoce — comme les tests sanguins — et en favorisant la mise au point de biotechnologies toujours plus ciblées. Elles nous permettent d'être plus efficaces pour lutter contre tel ou tel cancer tout en favorisant la désescalade thérapeutique : ne plus donner de médicaments dont nous savons qu'ils n'auront pas suffisamment d'effet. Pour la recherche, l'important est de bien comprendre que les cancers sont des populations de cellules hétérogènes, à l'instar des populations des grandes villes : chacune interagit avec l'autre, chacune entre « synergie » avec l'autre. Une fois cela compris, nous pourrons l'attaquer au niveau unicellulaire. ■

« Les biotechnologies toujours plus ciblées nous permettent d'être plus efficaces »

Pr Fabrice André

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

Rétablir la confiance grâce aux sciences participatives

On n'a jamais vu ni entendu autant de scientifiques dans les médias que lors du confinement. Tous les soirs, défilaient sur les plateaux télévisés des représentants du monde scientifique. Leur parole était d'autant plus attendue que la recherche suscite l'espoir d'une éradication rapide du Covid-19. Pour éviter une vision trop monolithique et, surtout, pour stimuler le débat, on a pris l'habitude de confronter deux visions différentes, en opposant des scientifiques et des personnalités de renom. Il en résulte une grande confusion et, surtout, une défiance du grand public envers la science et les institutions scientifiques soupçonnées d'entretenir d'obscurs conflits d'intérêts. Rappelons que controverses et défiances sont naturelles aux chercheurs ; l'hésitation et l'inquiétude sont même les moteurs de l'activité scientifique. Selon les mots de Paul Valéry dans *Monsieur Teste*, pour le savant à certaines *« heures, rien n'est évident, il n'y a que lacunes, actes de foi, incertitudes »*... Mais, tant ces controverses que la défiance ne demeurent pas éternellement ; des observations, des expériences, des modélisations, des preuves de tous ordres aident à y mettre fin, au moins momentanément, quitte à y revenir plus tard. En cela, elles ne relèvent pas du parti pris ; elles sont au cœur de la démarche scientifique. Pour rétablir la confiance du public, plutôt que de confronter des opinions dans une arène médiatique, ne vaudrait-il pas mieux faire prendre conscience de la nature authentique de cette démarche ? Or, cela se fait surtout en pratiquant. C'est tout l'intérêt des sciences participatives auxquelles tous les citoyens apporteraient leur contribution, par exemple en réalisant des reconnaissances d'objets célestes ou des observations locales de la faune et de la flore. Cela constituerait peut-être un moyen éducatif à la fois utile et salutaire. ■

> « Faire prendre conscience au grand public de la nature de la démarche scientifique »

* Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS). Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

BRUNO LÉVY

« Développer une intuition quantique est possible »

Le physicien et vulgarisateur Julien Bobroff invite à un voyage à travers les concepts de cette discipline de la physique avec « La Quantique autrement » (Flammarion).

ASTRID DI CROLL ALANZA-FLAMMARION

Julien Bobroff, est professeur à l'université Paris-Saclay. Spécialiste de supraconductivité et de magnétisme, il développe aujourd'hui de nouvelles façons d'enseigner et de diffuser la physique.

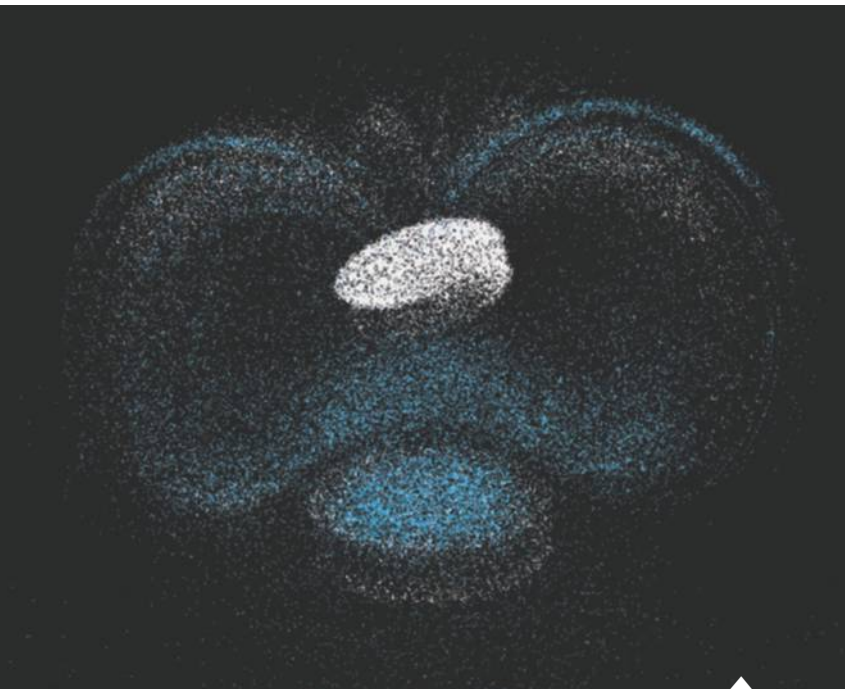
« De nombreux et excellents livres ont déjà été écrits pour vulgariser la physique quantique. Mais elle y est abordée soit par son histoire, soit en insistant sur son caractère mystérieux, soit en faisant appel au formalisme mathématique. Avec cet ouvrage, j'essaie de plonger le lecteur dans la quantique, sans détour, tout en la dédramatisant. On entoure cette science de trop de mystère, ce qui mène parfois à des idées pseudo-scientifiques qui n'ont aucun fondement, comme la médecine quantique. Oui, la physique quantique défie notre intuition, mais je pense que c'est le cas de la plupart des grandes théories dans cette discipline. Que la gravitation de Newton décrive à la fois la chute d'un stylo qu'on lâche et la révolution des planètes autour du Soleil est tout aussi hallucinant, et contre-intuitif, que les phénomènes quantiques ! Développer une intuition quantique est possible, les physiciennes et physiciens de cette discipline le font tous les jours. Je pense que même le grand public le peut également. Ce qui est spécifique, c'est de trouver les bonnes manières de se la représenter, de s'en faire des images mentales. J'essaie de proposer de nouvelles analogies et des illustrations pour saisir des concepts qui resteraient abstraits sinon.

Dans chaque chapitre, j'aborde un concept clé en commençant par la première brique de base : la dualité onde-particule. Un objet quantique se comporte comme une onde tant qu'on ne l'observe pas. Pourtant, dès qu'on la mesure, celle-ci se réduit brutalement en un point, en une particule. Imaginez un orchestre jouant un accord musical qui se propagerait vers toute la salle comme toute onde acoustique… mais qui se réduirait soudain pour n'être perçue que par un seul des spectateurs, tiré au hasard ! Il faudrait que tout le public compare ce que chacun a entendu pour finalement recomposer le morceau joué. Les physiciens doivent donc faire preuve d'astuce pour parvenir à capturer la nature même de cette onde sans trop la perturber. Nous sommes des sortes d'enquêteurs de l'impossible, essayant de savoir ce qu'il s'est passé avant le crime alors que cela ne nous est pas donné à voir. Une fois qu'on accepte cette idée de dualité, certes un peu étrange, presque tout le reste en découle. Par exemple, le fait qu'un objet quantique puisse être « superposé » dans deux états à la fois découle du fait que les ondes peuvent se superposer. Mais les ondes du monde quantique ne sont pas pour autant celles dont nous avons l'habitude. La différence intervient notamment au moment de la mesure — celui où la « réduction » se produit — donnant un résultat au hasard. Cependant, ce dernier n'est pas un flou complet, il est régi par des règles précises. La quantique est d'ailleurs le domaine où nous pouvons faire les prédictions et les mesures les plus précises de la physique ! De nombreux livres de vulgarisation se focalisent sur les problèmes philosophiques d'interprétation : l'onde quantique est-elle réelle ? Y a-t-il des univers multiples ?… Mais la plupart des chercheuses et chercheurs sont bien plus pragmatiques : ils comprennent comment la physique quantique fonctionne et

EXTRAIT

[…] la superposition sans doute la plus fascinante à ce jour a été accomplie par une équipe de l'université de Californie à Santa Barbara en 2010. Le jeune Aaron O'Connell […] conçut une petite plaque métallique, à base d'aluminium et d'azote, qu'il parvint à suspendre dans le vide — songez à un plongeoir au-dessus d'une piscine. Il refroidit alors le tout à 0,025 kelvin, près de dix mille fois plus froid que nos températures habituelles. Puis il fit vibrer la plaque à l'aide de petites excitations électriques. Le plongeoir se mit alors à osciller verticalement – comme si un nageur venait de plonger. […] En excitant astucieusement le métal, il réussit à le placer dans deux états simultanément. Pendant une trentaine de nanosecondes, la petite plaque métallique vibra… et ne vibra pas !

La Quantique autrement, Julien Bobroff, Flammarion, 256 p., 20 €



DAFOX

Un supraconducteur, (en bas) peut faire léviter un aimant (en haut) en repoussant son champ magnétique. C'est un des nombreux phénomènes quantiques illustrés de façon originale dans le livre de Julien Bobroff.

l'utilisent pour pousser plus loin la compréhension d'une incroyable variété de phénomènes, dont certains inattendus. Par exemple, le principe d'incertitude permet de prédire comment le Soleil va terminer sa vie. Je me suis aussi attaché à raconter les recherches les plus récentes, en cours dans les laboratoires.

> « On entoure la quantique de trop de mystère, ce qui mène parfois à des idées pseudo-scientifiques »

Certaines de ces expériences me fascinent, comme cette chercheuse qui est parvenue à utiliser l'intrication pour prendre en photo un petit chat en papier... sans jamais envoyer de lumière dessus ! Ou encore ces composés à base d'hydrogène dont on a découvert tout récemment qu'ils seraient supraconducteurs à température ambiante sous pression ! Enfin et surtout, l'ordinateur quantique. Presque tous les concepts quantiques sont condensés dans cette machine qui pourrait être bien plus efficace que nos ordinateurs actuels pour certains calculs. S'il fonctionne comme on l'espère, il pourrait révolutionner le monde des médicaments, de la chimie, de l'intelligence artificielle, et de bien d'autres secteurs encore. Mais y parviendra-t-on bientôt ? Dans le livre, je tente d'y répondre... » ■

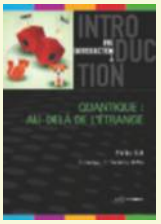
Propos recueillis par Sylvain Guilbaud @GuilbaudSylvain

SUR LE MÊME THÈME

Parcours éclairé

HISTOIRE Prix Nobel de physique 2012, le Français Serge Haroche retrace ici plusieurs siècles d'histoire de la physique à travers le prisme de la lumière avec des anecdotes sur la vie de scientifique et surtout, la discussion en détail des expériences que le physicien a menées sur le caractère quantique des photons. Il décrit ainsi comment lui et son équipe ont pu *« apprivoiser un chat de Schrödinger »* mettant à jour le phénomène de décohérence, cause de l'effacement des phénomènes quantiques à l'échelle macroscopique. Ouvrage complet mais dense, avec des termes mathématiques dans le texte. ■ **S. G.**

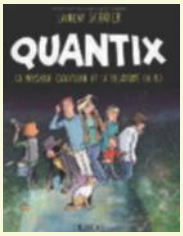
La Lumière révélée, Serge Haroche, Odile Jacob, 510 p., 23,90 €



Plongée en monde profond

LIMITES Face à la difficulté d'exprimer la signification profonde de la physique quantique, l'Américain David Mermin a formulé un adage pragmatique : il faut se taire et calculer. Mais, pour le journaliste britannique Philip Ball, grand connaisseur du sujet, la question des interprétations dans ce domaine mérite mieux que ça. Pour lui, l'adjectif « SA884_104_RDVétrange » qui est souvent accolé à la discipline n'est pas très utile, car, après tout, le monde quantique est aussi le nôtre. Ce livre est donc une plongée pour comprendre ce que quantique veut vraiment dire. Un exposé exhaustif et accessible, qui explore les limites de ce que nous pouvons comprendre et appréhender. ■ **S. G.**

Quantique : au-delà de l'étrange, Philip Ball, EDP sciences, 280 p., 25 €



La théorie par l'image

BANDE DESSINÉE Vulgariser la physique quantique est un pari qui n'est pas sans risques, tout comme rendre accessible la théorie de la relativité, restreinte et générale. Alors, aborder de façon claire ces deux constructions intellectuelles dans un même ouvrage — qui plus est sous forme de BD — voilà un défi ! Laurent Schafer, journaliste et dessinateur suisse s'y attelle avec brio. Relativité de l'écoulement du temps, structure des atomes, comportement ondulatoire de la matière..., ces concepts sont présentés de façon originale en suivant les pérégrinations d'une famille ordinaire. Non, la science n'a pas désenchanté le monde ! ■ **S. G.**

Quantix, Laurent Schafer, Dunod, 176 p., 18,90 €

MAREEN FISCHINGER/ PLAINPICTURE

Lorsque nous mangeons, les cellules nasales captent les molécules volatiles des mets.

Feu d'artifice gustatif

Dans *Le goût : une affaire de nez*, le chercheur Loïc Briand explique comment ce sens primordial passe aussi par les cellules nasales olfactives.

SENSATIONS On croit tout savoir sur le goût et pourtant ! Dans l'ouvrage *Le Goût : une affaire de nez,* Loïc Briand, directeur de recherche du Centre des sciences du goût et de l'alimentation de l'université de Bourgogne, nous invite, à travers plus de 80 questions, à un voyage passionnant autour de ce sens primordial. Ce dernier détecte les molécules chimiques de nos aliments pour le plaisir, mais surtout pour éviter de s'empoisonner. Ainsi, si l'on sait que nos papilles peuvent détecter cinq saveurs primaires, sucré, salé, amer, acide et umami (saveur caractéristique générée par le glutamate), le goût est en réalité bien plus qu'une histoire de langue ! Une large part (75 %) de nos sensations gustatives est obtenue grâce à nos cellules nasales olfactives, qui captent les molécules volatiles des mets, sans compter les nerfs de la face (trijumeaux) qui identifient le frais et le piquant.

On apprend que l'être humain est aussi capable de percevoir le goût du gras, le goût métallique ou l'astringence. Et que notre capacité d'identification est liée au régime alimentaire. Ainsi, pour éviter les poisons végétaux, un herbivore ou omnivore au régime végétal varié aura développé de multiples récepteurs à l'amertume (25 pour l'humain), alors que le chat n'en possède que quelques-uns. Les animaux carnivores sont dotés, eux, en revanche, d'une appétence élevée pour les acides aminés (ceux qui génèrent la saveur umami). De page en page, on va se demander si on peut sentir avec la bouche. S'il y a des récepteurs au sucré et à l'amer dans d'autres organes du corps humain. Le sucre peut-il être une drogue ? Pourquoi les chiens ont-ils du flair et les serpents tirent la langue ? Et le chat, est-il vraiment un fin gourmet ? Toutes ces questions et leurs réponses — illustrées pour certaines avec des schémas pédagogiques et détaillés bien utiles, — n'ont pas fini d'étonner les plus curieux et gourmands d'entre nous. ■

Elena Sender

Le Goût : une affaire de nez, Loïc Briand, Quae éditions, 142 p., 19 €

La loi de la jungle

DESCENDANCE *« S'il y a une féroce compétition dans le monde animal, c'est bien pour la reproduction »*, lit-on dans cet ébouriffant ouvrage dessiné. Mais dans ce domaine, comme dans tous les autres explorés, le plus fort, le plus beau, n'est pas forcément le

mieux loti : *« Des alliances entre deux mâles sont courantes chez les chimpanzés, les lions ou les dauphins pour se débarrasser d'un gros mâle dominant »*, poursuit l'auteur. Gilles Macagno fait ainsi converser avec gourmandise les théories de Darwin sur la sélection naturelle avec celles de l'anarchiste russe Pierre Kropotkine, dont l'ouvrage *L'Entraide* explore les processus d'alliances animales pour survivre et assurer leur descendance. ■ **S. R.**

Je t'aide, moi non plus – solidarités et alliances dans le monde animal, Gilles Macagno, Delachaux et Niestlé, 127 p., 15,90 €

Embryon : l'odyssée des cellules

AUTO-CONSTRUCTION Comment une simple cellule fécondée, le zygote, parvient à se développer en un organisme complexe de plus de 37 milliards de cellules ? Tout cela sans plan précis ni architecte ! Les secrets de cette auto-construction fascinent la biologiste Magdalena Zernicka-Goetz. Dans ce livre, qu'elle a coécrit avec le journaliste scientifique Roger Highfield, elle dresse un panorama très documenté des travaux qui ont permis de lever le voile sur la « chorégraphie cellulaire » qui contribue à notre développement. Elle explique notamment comment en 2016, son équipe, alors à Cambridge (Royaume-Uni), est parvenue à cultiver *in vitro* des embryons humains au-delà du septième jour. ■ **M. G.**

La Danse de la vie, de la cellule à l'être humain, Magdalena Zernicka-Goetz, Roger Highfield, Dunod, 276 p., 22,90 €

L'histoire humaine en débat

ANCÊTRES Origine, bipédie, langage, guerre, art, croyances, tels sont quelques-uns des thèmes

abordés dans cet ouvrage du journaliste Éric Pincas. Passionné par la préhistoire, il livre, à travers une approche historico-scientifique, un condensé des connaissances les plus pointues de la paléontologie humaine. On y apprend ce qu'il faut savoir sur nos ancêtres, mais aussi ce que nous ignorons. Sans oublier de mettre en avant les débats qui agitent la communauté. Les données sur le terrain étant rares, certains gardent jalousement leurs découvertes, ce qui va parfois à l'encontre du partage de la connaissance. Une lecture plaisante. ■ **Ph. P.**

La préhistoire, vérités et légendes, Éric Pincas, Perrin, 256 p., 13 €

Aliens, nous voilà !

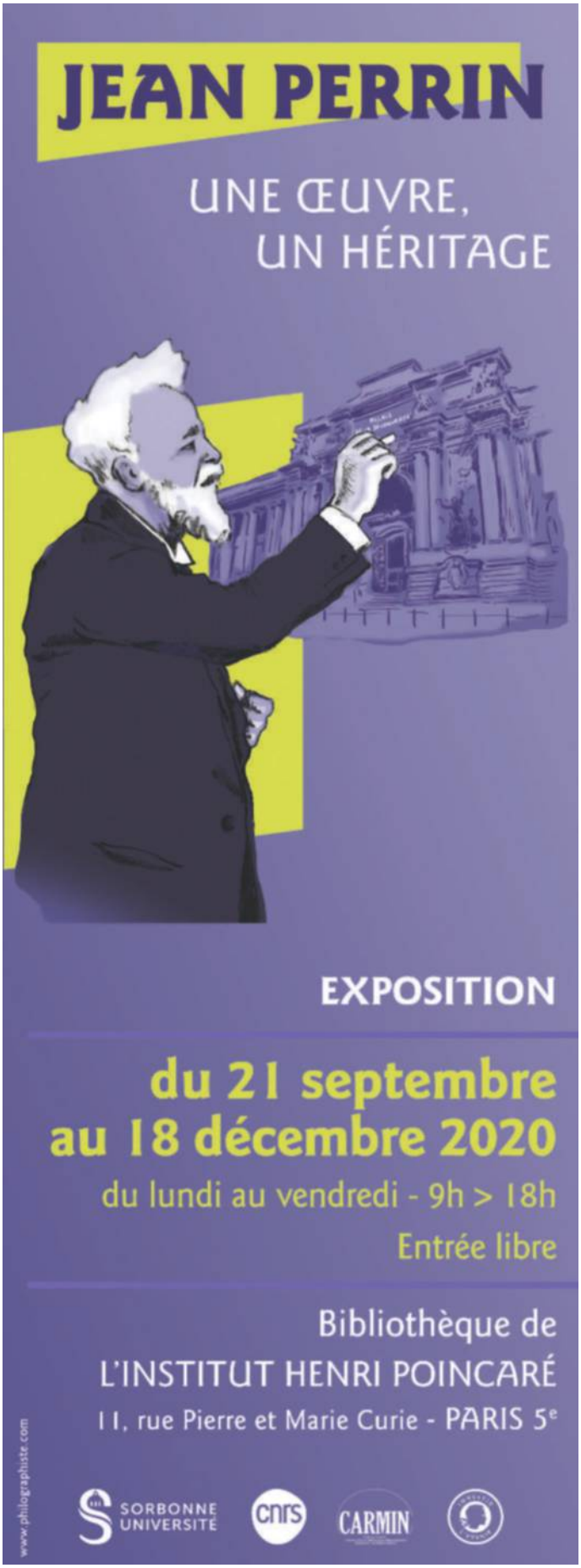
EXOBIOLOGIE Où se cachent les extraterrestres ? Comment annoncer leur éventuelle découverte ? Saurons-nous leur parler ? Ont-ils des relations sexuelles ? Docteur en biologie de l'évolution et rédacteur en chef de *space.com*, Michael Wall dresse un panorama complet des recherches et présomptions actuelles sur les *aliens*, avec rigueur mais aussi humour. Longtemps confiné à la science-fiction, le domaine passionne, il est vrai, nombre de scientifiques. *« Et cela va s'intensifier car une nouvelle génération de télescopes puissants, tant au sol que dans l'espace, est sur le point de voir le jour »*, souligne l'auteur. Donc *« l'excitation et l'optimiste règnent. »* ■ **F. D.**

Ailleurs. Guide de la vie extraterrestre, des planètes habitables, de l'antimatière et des voyages dans l'espace. Michael Wall, Fyp, 220 p., 22 €

Le charme désuet de l'ancêtre des brevets

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE Saviez-vous que, tous les ans, le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences reçoit encore une trentaine de plis cachetés à la cire ? La pratique est ancienne, presque autant que l'institution installée quai de Conti, à Paris. Elle a été imaginée pour protéger les découvertes et les inventions des risques de contrefaçon. Une sorte d'ancêtre du brevet, mais sans existence légale ni (réelle) valeur juridique. Ce qui n'a pas empêché nombre de scientifiques et inventeurs, français comme étrangers, d'y avoir recours (18 802 plis recensés au 1er janvier 2020). Dans ce livre, sont présentées une vingtaine de ces missives au charme désuet. Un bon condensé de ce qu'est la recherche, faite de découvertes marquantes (la mise au jour de la mandibule de Lucy), de réponses scientifiques à des problématiques sociétales (lutte contre le phylloxera de la vigne), mais aussi d'inventions insolites (coton-tige) et de démonstrations pas toujours convaincantes. ■ **Vincent Glavieux**

Sous le sceau du secret. Les plis cachetés de l'Académie des sciences, Edgardo-D. Carosella (dir.), CNRS éditions, 240 p., 25 €



EXPOSITIONS

Aix-en-Provence (13)

Pharaon, Osiris et la momie
Présentation de l'intégralité du fonds égyptien du musée Granet autour de 3 thématiques : la vie après la mort, l'écriture et la restauration d'objets anciens.
Musée Granet, place Saint-Jean-de-Malte, jusqu'au 14 février 2021.
Rens. : 04.42.52.88.32.

Besançon (25)

Le passé des passages
Cette première exposition depuis la réouverture du musée en 2018 est consacrée à 2000 ans d'histoire d'un quartier commerçant.
Musée des Beaux-Arts et d'Archéologie, 1, place de la Révolution, jusqu'au 4 janvier 2021.
Rens. : 01.81.87.80.67.

Elbeuf-sur-Seine (76)

Wildlife photographer of the year
Un parcours mettant en regard les animaux taxidermisés de la Fabrique des savoirs et une centaine de clichés de nature issus du célèbre concours photographique international.
La Fabrique des savoirs, 7, cours Gambetta, jusqu'au 7 mars 2021.
Rens. : 02.32.96.30.40.

Lyon (69)

Makay, un refuge en terre malgache
Une invitation à partager le quotidien des membres d'une expédition scientifique dans le massif du Makay, au sud-ouest de Madagascar, qui abrite une mosaïque d'écosystèmes depuis des millions d'années.
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, du 16 octobre au 22 août 2021.
Rens. : 04.28.38.12.12.

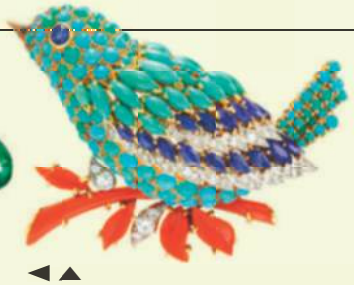
Nantes (44)

Neandertal
Adaptation par le muséum d'Histoire naturelle de Nantes de l'exposition du musée de l'Homme à Paris : 140 objets et des dispositifs multimédias pour partir à la découverte de l'homme de Neandertal.
Muséum, square Louis-Bureau, place de la Monnaie, jusqu'au 8 mars 2021.
Rens. : 02.40.41.55.00.

Paris (75)

Secrets de beauté
Exposition consacrée au maquillage et à la coiffure de la période Edo dans les estampes japonaises.
Maison de la culture du Japon à Paris, 101 bis, quai Branly, du 7 octobre au 6 février 2021.
Rens. : 01.44.37.95.00.

Bio-inspirée, une autre approche
Nouvelle exposition permanente consacrée au biomimétisme comme démarche scientifique face aux enjeux environnementaux du XXIe siècle.
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou.
Rens. : 01.85.53.99.74.



Collerette, platine, émeraudes et diamants, 1929, Van Cleef & Arpels.

Clip oiseau bleu, platine, or jaune, saphirs, turquoises, corail, diamants, 1963, Van Cleef & Arpels.

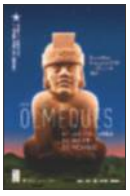
PATRICK GRIES/VAN CLEEF ET ARPEL SA

Paris (75) / Exposition

Pierres précieuses

« *Nous voulions montrer que les pierres ne sont pas toutes grises !* » Professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris, François Farges affiche l'ambition de faire partager sa passion pour la minéralogie avec cette exposition. Dès le début de sa conception, le commissaire a travaillé pour mettre en place un dialogue entre les collections du Muséum et les créations d'un joaillier, celles de Van Cleef & Arpels. Et le visiteur ne risque pas de repartir frustré : *« Nous présentons plus de 200 variétés de pierres précieuses »*, explique le scientifique. Mais qu'est-ce qu'une pierre précieuse ? Jusqu'en 2002, ce terme ne désignait que les saphirs, rubis, émeraudes et diamants. Aujourd'hui il recouvre toutes les pierres d'intérêt. Le parcours montre comment les phénomènes naturels leur ont donné naissance, et en particulier sept d'entre eux : la pression, la température, les fluides, l'eau, l'oxygène, la vie et le métamorphisme. À chaque fois, on découvre d'une part les minéraux et d'autre part un exemple de leur utilisation en joaillerie. Le minéralogiste apprécie ainsi le bijou, tandis que l'amateur de joaillerie découvre la minéralogie. Et les deux entrevoient l'immensité des créations humaine et géologique. ■ **Mathieu Nowak**

Muséum national d'histoire naturelle, Grande Galerie de l'évolution, 57, rue Cuvier, jusqu'au 14 juin 2021.
Rens. : 01.40.79.56.01.



Les Olmèques et les cultures du golfe du Mexique
Pour la première fois en Europe, une présentation, avec 300 pièces, de la richesse culturelle de la civilisation olmèque (1600 - 400 avant J.-C.) et de son influence au-delà de ses frontières.
Musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, 37, quai Branly, du 9 octobre au 25 juillet 2021.
Rens. : 01.56.61.70.00.

Saint-Germain-en-Laye (78)

D'Alésia à Rome, l'aventure archéologique de Napoléon III
Très liées à la personne de l'empereur, ces fouilles entreprises sous le Second Empire constituent une épopée archéologique à l'échelle de l'Europe et du bassin méditerranéen, en Grèce, en Italie ou en Orient.
Musée d'Archéologie nationale, domaine national, jusqu'au 3 janvier 2021.
Rens. : 01.34.51.65.36.

ET AUSSI

Paris (75)

Pariscience
La 16e édition du festival international du film scientifique sera organisée cette année en ligne, avec des débats retransmis en direct.
Du 23 au 28 octobre. Programme complet sur : https://pariscience.fr

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

PAR JOHAN KIEKEN

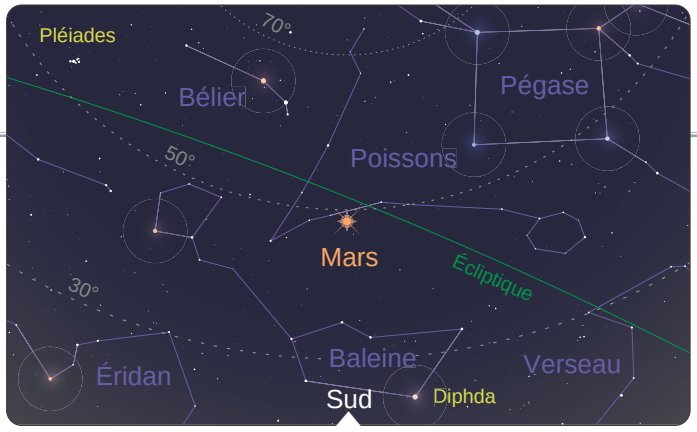
Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire (26°) à l'est du Soleil le 1er. Elle n'est toutefois pas visible dans nos contrées, beaucoup trop basse dans les lumières du couchant. Elle passe en conjonction inférieure le 25.

VÉNUS
L'étoile du Berger est toujours bien visible en fin de nuit et au petit matin vers le levant sous la forme d'un point étincelant. Jour après jour, elle se rapproche insensiblement de la direction du Soleil. Le 1er elle se lève 3h40 avant l'astre du jour et 3h10 avant lui 30 jours plus tard. Vénus quitte la constellation du Lion le 22 pour entrer dans celle de la Vierge.

MARS
Lire ci-contre.

JUPITER
La plus grosse des planètes est observable vers le sud, bas sur l'horizon, dès la tombée du soir.



En milieu de mois, Mars se situera plein sud au cœur de la nuit, soit entre 1 h et 2 h du matin suivant votre localisation en France.

La planète Rouge au firmament

MARS PASSE À L'OPPOSITION LE 14 et se trouve, ce mois, dans des conditions d'observation optimales. Située dans la direction opposée au Soleil, elle est visible toute la nuit. Vous la trouverez bas vers l'est à la tombée du jour, à peu près à mi-hauteur dans le ciel vers le sud en milieu de nuit et bas vers l'ouest le lendemain matin. Par son éclat très intense et sa couleur caramel prononcée, Mars se distingue nettement des astres environnants.

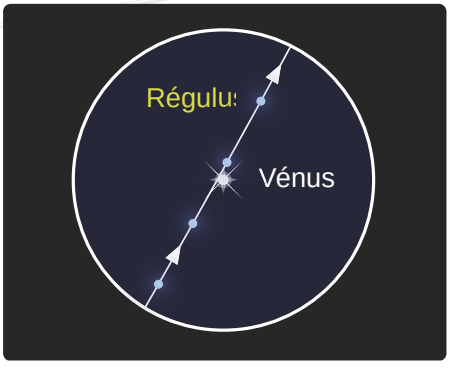
Notre conseil Détecter Mars est à la portée de tous tant elle est brillante et colorée. Pour ôter vos derniers doutes sur son identification, sachez que la Lune sera proche d'elle durant les nuits du 2 au 3 et du 29 au 30.

Très lumineuse, elle reste visible quelques heures avant de se coucher. Elle se situe actuellement dans la constellation australe du Sagittaire.

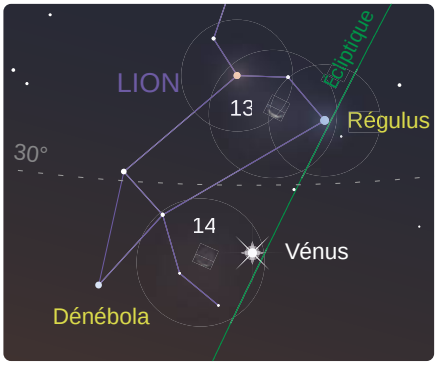
SATURNE
La planète aux anneaux, moyennement brillante, partage les mêmes conditions d'observation que Jupiter, dont elle est proche en direction. L'écart angulaire entre les deux planètes diminue au cours du mois, passant de 7° à 5°. Plus que quelques semaines à attendre avec leur spectaculaire conjonction du 21 décembre !

L'appli du mois

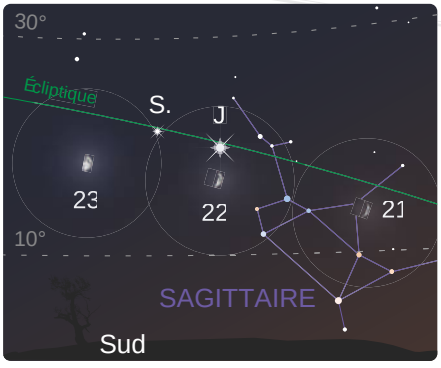
NEXT SPACEFLIGHT est une application gratuite en anglais disponible sur Android et iOS. Elle vous permet de connaître l'actualité des lanceurs spatiaux avec un calendrier des événements à venir et passés, une description de chaque mission, un suivi des lancements en direct et la possibilité de se les voir notifier pour ne pas oublier de les regarder !



EN DÉBUT DE MOIS, VÉNUS PASSE TRÈS PRÈS DE RÉGULUS, l'étoile la plus lumineuse de la constellation du Lion. La vue aux jumelles, centrée sur Vénus, couvre la période du 1er au 4.



LE 14, UNE HEURE AVANT LE LEVER DU SOLEIL, le dernier croissant de Lune se situera à 4° de la planète Vénus. La scène prendra place plein est, à une trentaine de degrés de hauteur.



LE SOIR DU 22, UNE HEURE APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, la Lune au croissant affirmé vous permettra de repérer Jupiter (J.) et Saturne (S.), dont elle sera respectivement à 3° et à 7°.

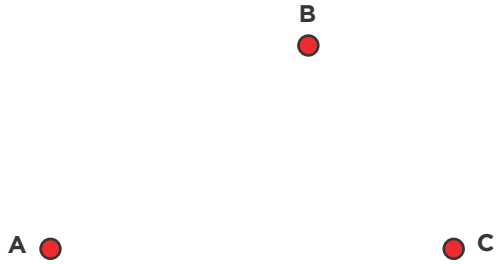
PAR PIERRE BERLOQUIN

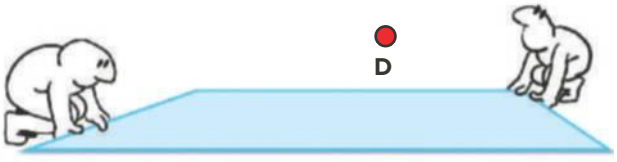
Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Carré tombé

Les quatre points A, B, C et D étaient sur le périmètre d'un carré. Le carré s'en est détaché et a chuté par mégarde. Saurez-vous replacer le carré tombé sur ses quatre points ?





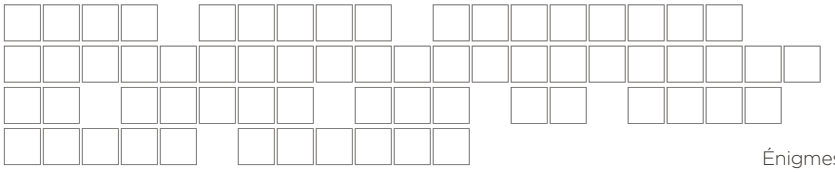
Un, deux, trois

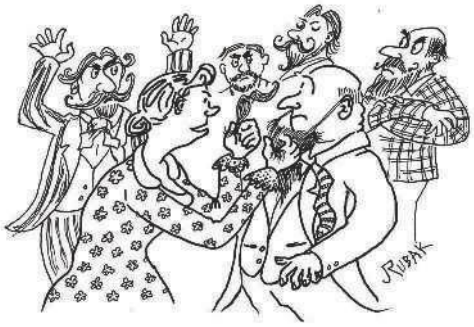
En utilisant les chiffres 1, 2 et 3, une seule fois chacun et exactement dans cet ordre, avec éventuellement les quatre opérations et les parenthèses, il est possible d'obtenir les nombres de 0 à 9, sauf un qui reste inatteignable.
On calcule par exemple :
1 + 2 - 3 = 0
(1 + 2)/ 3 = 1
Quel nombre est rebelle ?
Avec quel opérateur mathématique supplémentaire pourriez-vous calculer le dernier nombre ?

Le pommier de Léonard

Laissez tomber chaque lettre verticalement dans une case pour écrire une phrase de Léonard de Vinci

C O M B E N C E D M A N L E E A E L E R E
D O U M O P D I E P I R O L H C I N T S
T O U R T R O H E R S S U P T U
T U T V S





Les menteurs

Que serait la logique si les menteurs n'existaient pas ? Dans le cas d'une sombre escroquerie, nous avons cinq suspects qui appartiennent à la même bande. À savoir Albert, Benoît, Charly, Dédé et Ernest.
En les interrogeant, nous avons les réponses suivantes :

Albert : Charly et Benoît mentent.
Benoît : Charly et Dédé mentent.
Charly : Benoît et Dédé mentent.
Dédé : Charly et Ernest mentent.
Ernest : Albert et Benoît mentent.

Quel est celui des cinq dont on est certain qu'il ment ?

Makotu 7++

Dans ce carré latin, chaque ligne et chaque colonne comprennent une seule fois chaque nombre de 1 à 7. Les nombres en coin donnent le résultat de l'opérateur sur la zone de même couleur.
Les opérateurs sont, outre +, -, x, /.
Innovation : s pour suite et m pour moyenne.

13+	23+			30x	360x	
	10+		10+		10+	
	50x			2-		19
4m			26+			
				s		

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Tonique veineux
MARRON D'INDE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~10,20€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3).*

5€ 45 gélules ~~10,30€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids.** *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~11,00€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel.**

6€ 45 comprimés ~~12,00€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~14,20€~~

Sommeil
PASSIFLORE BIO

Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité.** Ni accoutumance, ni somnolence.

6€ 45 gélules ~~10,70€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire.**

5€ 45 capsules ~~10,40€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux.** *(7). Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~10,30€~~

Minceur
NOPAL BIO

Absorbe une partie des **graisses** et des **sucres ingérés**, limitant ainsi l'apport calorique.

6€ 45 gélules ~~11,30€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel.** *(2), (4).*

7€ 30 gélules ~~15,10€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire.**

6€ 45 gélules ~~11,30€~~

Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie.** *(1)*

6€ 10 ampoules ~~13,10€~~

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.

7€ 60 gélules ~~15,10€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte.** *(2), (8).*

6€ 45 gélules ~~10,60€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations.

Gardez le plaisir de bouger !

5€ 45 gélules ~~10,20€~~

Bonne vision
SPIRULINE BIO

Préservez votre vision grâce à la **Vitamine A** issue du **Bêta-carotène** de la Spiruline. *(1), (6).*

6€ 45 comprimés ~~10,50€~~

Vos 3 Cadeaux

Le Rasoir Multi-fonctions OFFERT

Pour Homme et Femme

- Tondeuse moustache, barbe et cheveux
- Embout sourcils
- Embout tondeuse nez/oreilles
- Brosse de nettoyage

Fonctionne avec des piles AA non fournies.

+

Les Frais de Port OFFERTS

Dès 15€ d'achat

0€

+

dès 5€ Tous vos produits

ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~10,30~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir	~~13,10~~	6,00€
Marron d'Inde BIO	~~10,20~~	5,00€
Silicium Organique & Vit. C	~~14,20~~	7,00€
Tribulus	~~15,10~~	7,00€
Le Rasoir Multifonctions		**OFFERT**
Frais de port	~~5,80~~	OFFERTS
TOTAL	~~68,70~~	30,00€

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des anti-dépresseurs. (5) Contient de la caféine (45 mg par jour). (6) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. (7) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (8) Ne pas associer avec des anti-coagulants. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ Mme ☐ Mr

Nom, Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code Postal : _____ Ville : .....

Votre date d'anniversaire : __/__/19__

E-mail* : .....

pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

**Recommandé pour la livraison.*

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**

N° _____

Date d'expiration : __/__

Chiffres inscrits au dos de ma carte : ___

Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Marron d'Inde BIO	PMDB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Passiflore BIO	PPAB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Nopal BIO	PNOB45		6€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Spiruline BIO	PSNB45		6€	
☐ Je reçois **GRATUITEMENT** mon **RASOIR** et mon **CATALOGUE**				**OFFERTS**
☐ Ma commande atteint 15€ , **j'économise 5,80€ sur les frais de port**				**OFFERTS**
☐ Ma commande est inférieure à 15€, **je rajoute 5,80€**				
CODE PRIVILÈGE : **CS415**			**TOTAL À RÉGLER**	..... €

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Versailles B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.mangerbouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS

*Envoyez votre **réglement par chèque**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité Fevad — synadiet — Traitement Rapide 24h COLIECO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h-13h et 14h-18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

VOYAGEZ EN TOUTE LIBERTÉ.

PROMO
CARTE LIBERTÉ

TARIF RÉDUIT UNIQUE (1)
TOUTE L'ANNÉE

299€ (2) ~~399€~~ /AN

PROMOTION DU 14 SEPTEMBRE AU 7 OCTOBRE 2020(2).
BILLETS ÉCHANGEABLES ET REMBOURSABLES SANS FRAIS*.
POUR VOS ACHATS, PRIVILÉGIEZ LES AGENCES EN LIGNE AGRÉÉES SNCF OU OUi SNCF
PORT DU MASQUE OBLIGATOIRE DURANT VOTRE VOYAGE.
RETROUVEZ TOUTES NOS ACTIONS POUR VOTRE SÉCURITÉ SUR SNCF.COM

*Exonération des frais d'échange et remboursement pour des voyages jusqu'au 1er novembre 2020 inclus. Dans le cadre d'un échange, la différence tarifaire est à la charge du client. (1) Offre réservée aux titulaires de la carte Liberté. Tarif unique correspondant à une réduction calculée de 45% en 1re et de 60% en 2de classe, hors prestation supplémentaire payante, sur le tarif Business Première sur les trains à réservation obligatoire de TGV INOUI et INTERCITÉS (hors OUIGO et INTERCITÉS 100% ÉCO). Sur les trains INTERCITÉS sans réservation obligatoire la réduction est de 50 % calculée sur le tarif normal de la classe empruntée. Les conditions d'application sur TER sont de la responsabilité des autorités organisatrices et sont disponibles sur les sites Internet TER. (2) Prix TTC pour tout achat ou renouvellement d'une carte de réduction Liberté. Offre valable du 14 septembre au 7 octobre 2020 inclus. Date d'activation de la carte possible jusqu'à 3 mois après la date d'achat. Offre non cumulable avec toute autre promotion en cours et bonus de renouvellement de la carte. Vente et informations en bornes libre-service, dans les gares, boutiques SNCF, par téléphone au 3635 (service gratuit + prix appel), auprès des agences de voyages agréées SNCF et sur www.oui.sncf. TGV INOUI est une marque déposée de SNCF Mobilités. Tous droits de reproduction réservés. SNCF Voyageurs, SA au capital social de 157 789 960 euros, inscrite au RCS de Bobigny sous le numéro 519 037 584. 9, rue Jean-Philippe Rameau – 93200 Saint-Denis Cedex. ROSA·PARK

EN TRAIN
TOUS RESPONSABLES
SNCF

TGV INOUI
VOYAGEZ AVEC VOTRE TEMPS